

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ІНЖЕНЕРНО – ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 131- ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

на тему: Видувне формування ПЕТ-тари з преформ _____

Виконав (-ла): студент (-ка) __6__ курсу, групи ЛУ-61м
(шифр групи)

_____ Дагдій Вікторія Миколаївна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник к.т.н, доц. Сокольський О.Л. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант: д.т.н., проф. Карвацький А.Я. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною
(освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) 131 «Прикладна механіка»
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) (ініціали, прізвище)
«__» _____ 2018 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Дагдій Вікторії Миколаївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Видувне формування ПЕТ-тари з преформ

науковий керівник дисертації Сокольський Олександр Леонідович к.т.н., доц.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «__» _____ 2018 р. № _____
2. Строк подання студентом дисертації 25 квітня 2018 р.
3. Об'єкт дослідження Процес формування ПЕТ- тари з урахуванням температури, в'язкості і деформативних властивостей матеріалу.
4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) ПЕТ-тара та обладнання для здійснення процесу роздувного формування.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити проаналізувати та провести моделювання процесу видувного формування; визначити граничні та початкові умови; адаптувати математичну модель для числового моделювання; опублікувати: статтю у фаховому виданні, тези доповіді на конференціях, патент на корисну модель.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Запропонована модернізація; математична модель процесу видуву ПЕТ пляшки з преформи; граничні та початкові умови; моделювання процесу видуву за ізотермічних умов; моделювання процесу видуву за неізотермічних умов; розподілення температур по висоті преформи; експериментальні дослідження.

7. Орієнтовний перелік публікацій стаття у фаховому виданні, дві тези доповіді на конференціях, патент на корисну модель.

8. Консультанти розділів дисертації**

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 15 вересня 2016 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз літературних джерел	Розділ дисертації	1.09.16-31.12.16
2	Розробка методики експериментальних досліджень	Розділ дисертації	1.09.16-31.12.16
3	Розробка математичної моделі	Розділ дисертації	1.02.17-31.05.17
4	Проведення експериментальних досліджень, визначення похибок	Розділ дисертації	1.06.17-30.10.17
5	Аналіз отриманих результатів експериментальних досліджень	Розділ дисертації	1.11.17-31.12.17
6	Підготовка статті, доповіді на конференції	Публікації	1.02.18-31.03.18
7	Робота над числовим моделюванням	Розділ дисертації	1.11.17-15.04.18
8	Підготовка статті до публікації, заявки на патент	Текст статті, заявка	1.02.18-15.04.18
9	Оформлення текстової частини	Текстова частина	15.04.18-5.04.18
10	Оформлення графічної частини	Графічна частина	15.04.18-5.04.18
11	Доповідь на кафедрі.	Доповідь	25.04.18
12	Захист	Доповідь	15.05.18-25.05.18

Студент

В.М. Дагдій

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

О.Л Сокольський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Реферат

Дипломний проект: ____ с., ____ рис., ____ табл., ____ граф., ____ джерел.

Об'єкт і предмет розробки – процес видуву ПЕТ пляшки з преформи.

Мета проекту – дослідити процес формування ПЕТ-тари під дією таких вхідних факторів, як розподіл температур, тиск в прес-формі, час роздуву заготовки для досягнення найбільш рівномірної та мінімальної товщини стінки сформованої тари та знайти технологічні режими, необхідні для цього.

Методи розробки і проектування - аналітичні, розрахункові, (експериментальні), проектувальні; з використанням відомих методик, чисельних методів, комп'ютерних програм, нормативних документів.

При моделюванні процесу видуву ПЕТ пляшки з преформи, на основі аналітичного огляду науково-технічної літератури, нормативної та конструкторської документації, патентних досліджень, інженерно-технічних розрахунків, виконано наступне:

1. в результаті проведеної роботи було проаналізовано ряд варіантів процесу виготовлення ПЕТ-тари з преформ та устаткування для даного виробництва, визначено доцільність та напрямки модернізації.
2. визначено граничні та початкові умови математичної моделі та запропоновано адаптацію математичної моделі для числового моделювання.
3. проведено моделювання процесу видувного формування ПЕТ-тари з преформ за допомогою системи ANSYS зі штоком та без.
4. запропоновано вдосконалений спосіб видуву ПЕТ-тари з преформи який дає змогу покращити рівнотовщинність готових пакувальних виробів.

ПРОЦЕС ВИДУВУ, ПЕТ-ТАРА, ПРЕФОРМА, ПРЕС-ФОРМА, МОДЕЛЮВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, РОЗРАХУНКИ, ПАТЕНТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

						Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Реферат

Дипломный проект: ____ с., ____ рис., ____ табл., ____ граф., ____ источников.

Объект и предмет разработки - процесс выдува ПЭТ бутылки с преформы.

Цель проекта - исследовать процесс формирования ПЭТ-тары под действием таких входных факторов, как распределение температур, давление в пресс-форме, время раздува заготовки для достижения наиболее равномерной и минимальной толщины стенки сформировавшейся тары и найти технологические режимы, необходимые для этого.

Методы разработки и проектирования - аналитические, расчетные, (экспериментальные), проектировочные; с использованием известных методик, численных методов, компьютерных программ, нормативных документов.

При моделировании процесса выдува ПЭТ бутылки с преформы, на основе аналитического обзора научно-технической литературы, нормативной и конструкторской документации, патентных исследований, инженерно-технических расчетов, выполнено следующее:

1. в результате проведенной работы проанализировано ряд вариантов процессов изготовления ПЭТ-тары из преформ и оборудования для данного производства, определена целесообразность и направления модернизации.

2. определены предельные и начальные условия математической модели и предложено адаптацию математической модели для численного моделирования.

3. проведено моделирование процесса выдувного формования ПЭТ-тары из преформ с помощью системы ANSYS со штоком и без.

4. предложено усовершенствованный способ выдува ПЭТ-тары с преформы который позволяет улучшить равномерность готовых упаковочных изделий.

ПРОЦЕСС ВЫДУВА, ПЭТ-ТАРА, ПРЕФОРМА, ПРЕСС-ФОРМА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОДЕРНИЗАЦИЯ, РАСЧЕТЫ, ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

						Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

Abstract

Degree project: ____ page, ____ fig., ____ tab., ____ graph, ____ sources.

The object and subject is the process of blowing a PET bottle from a preform.

The aim of the project is to investigate the process of forming PET containers under the influence of input factors such as temperature distribution, pressure in the mold, blow-up time of the workpiece in order to achieve the most uniform and minimum wall thickness of the formed container and to find the technological regimes necessary for this.

Methods of development and design - analytical, design, (experimental), design; using known methods, numerical methods, computer programs, regulatory documents.

When modeling the process of blowing a PET bottle from a preform, based on an analytical review of scientific and technical literature, regulatory and design documentation, patent studies, engineering and technical calculations, the following is accomplished:

1. As a result of the work, a number of options for the production of PET packaging made from preforms and equipment for this production were analyzed, the feasibility and directions of modernization were determined.

2. The boundary and initial conditions of the mathematical model are determined and the adaptation of the mathematical model for numerical simulation is proposed.

3. The simulation of the process of blow molding of PET preforms with ANSYS system with and without stock is carried out.

4. An improved method of blowing PET preform packaging is proposed, which allows to improve the level of productivity of finished packaging products.

BLOW MOLDING PROCESS, PET-PACKING, PREFORMS, PRESS FORM, MODELING, DESIGNING, MODERNIZATION, CALCULATIONS, PATENT RESEARCH

						Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

	Стор.
Перелік позначень та умовних скорочень	9
Вступ.....	11
1 Загальні відомості щодо досліджуваного питання.....	14
1.1 Фізичні властивості ПЕТ.....	14
1.2 Видув ПЕТ пляшок	15
1.2.1 Стадії виготовлення ПЕТ-пляшки	17
2 Літературно-патентний огляд.....	22
2.1 Літературний огляд.....	22
2.2 Патентний огляд.....	25
2.3 Опис поданого патенту на корисну модель	31
2.4 Висновки до розділу 2	33
3 Математична модель процесу видувного формування ПЕТ-тари з преформ	34
3.1 Постановка задачі	34
3.3 Еволюція поверхонь: метод встановлення рівнів.....	35
3.4 Висновки до розділу 3	38
4 Дослідно-експериментальна частина.....	39
4.1 Експериментальна частина	39
4.1.1 Методика розрахунку похибок вимірювання фізичних величин	40
4.1.2 Розрахунок похибки вимірювання товщини стінки пляшки	42
4.1.3 Розрахунок похибки вимірювання висоти пляшки	45
4.2 Числові експерименти	48
5 Числове моделювання процесу видуву пет пляшки з преформи.....	55

					<i>ЛЧ61м.035166.01-90ПЗ</i>				
<i>Змн.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>					
<i>Розроб.</i>	<i>Догодів</i>				<i>Видувне формування</i> <i>ПЕТ-тари з преформ</i>		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Сокальський</i>						7		
<i>Реценз.</i>							<i>КПІ ім. Ізгоря Сікорського</i>		
<i>Н. Контр.</i>									
<i>Затверд.</i>									

5.1	Опис процесу числового моделювання	55
5.2	Висновки до розділу 5	64
6	Охорона праці й навколишнього середовища.....	65
6.1	Загальні положення.....	65
6.2.	Вимоги безпеки до виробничих приміщень.....	66
6.3.	Вимоги до безпеки виробничого обладнання та організації робочих місць	71
7	Розробка стартап-проекту	75
7.1	Опис ідеї стартап-проекту.....	75
7.2	Технологічний аудит ідеї проекту.....	76
7.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	77
7.4	Розробка ринкової стратегії проекту	83
7.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	84
7.5	Висновки до розділу 7	86
	Висновки	87
	Перелік посилань	88
	Додатки	92

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення

$\dot{\epsilon}$ – тензор швидкості деформації другого рангу;

$\dot{\bar{\epsilon}}$ – еквівалентна деформація;

$\bar{\sigma}$ – еквівалентне напруження;

γ – кумулятивна швидкість деформації;

T – температура, °C;

μ – в'язкість, Па · с;

t – час, с;

ρ – густина, кг/м³;

\mathbf{u} – вектор швидкості, м/с;

∇ – оператор Гамільтона;

σ – тензор напруження другого рангу, Па;

\mathbf{g} – вектор прискорення вільного падіння, м/с² ;

c_p – масова ізобарна теплоємність, Дж/(кг·K);

$\mathbf{q} = -\lambda \nabla T$ – вектор густини теплового потоку, Вт/м²;

T – абсолютна температура, K;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·K);

$(:)$ – оператор подвійного скалярного добутку;

K – коефіцієнт консистенції, Па·с;

λ – період релаксації, с; n – індекс течії;

$\dot{\gamma} = \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\epsilon} : \dot{\epsilon}}$ – другий інваріант від $\dot{\epsilon}$, с⁻¹;

E_a – енергія активації течії, Дж/моль;

R – газова стала, Дж/(моль·K);

T_a – абсолютна температура активації, K;

T_0 – абсолютна температура відліку, К;

T_a – абсолютна температура активації, К.

$\phi_r(x, t)$ – функція встановлення рівня, відповідна розтягувальному стержню в положенні x ;

$t, t_{stretch}$ – це час на розтягування;

a - коефіцієнт слабкої релаксації;

T^* - температурний розв'язок наступного рівняння;

hf - товщина поточного вузла в кінці моделювання;

hd - потрібна товщина.

Інші символи

$:$ – оператор подвійного скалярного добутку;

Основні скорочення

ПЕТ – поліетилентерефталат

ХПСМ – хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

SBM – injection stretch blow moulding

ВСТУП

В даній магістерській дисертації розглядається числове моделювання процесу видуву ПЕТ пляшки з преформи.

Процес автоматизованого видування порожнистих виробів швидко розвивався протягом останнього століття, в той же час збільшився спектр застосувань та різноманітності матеріалів. Незважаючи на те, що формування видувом використовували протягом багатьох років, виробники все ще стикаються з труднощами в оптимізації та контролі процесу.

У виробництві полімерного контейнера є три основних технології видувного лиття: лиття під тиском, видавлювання та розтяг. Спочатку у формі видування під тиском полімерна заготовка формується шляхом ін'єкції полімерного розплаву в формі трубчастої заготовки (преформи), після чого преформу вводять в іншу форму, де кінцевий контейнер роздувається, нагнітаючи заготовку повітрям. Ін'єкційне формування звичайно використовується для виготовлення невеликих або широкоформатних контейнерів. При формуванні видавлюванням стиснений полімерний розплав пресується у формі заготовки перед тим, як продукувати його у формі контейнера. Екструзійне видування може бути використане для різноманітних контейнерних форм і має в цілому високий рівень виробництва.

Впродовж останніх десятиліть комп'ютерні симуляційні моделі істотно сприяли покращенню та розумінню процесів формування тари, і в даний час вони широко використовуються для оптимізації процесу. Комп'ютерні імітаційні моделі можуть допомогти звести до мінімуму небажані варіації товщини стінки і зменшити вагу при збереженні міцності. Вони пропонують хорошу альтернативу методам випробувань та помилок з дорогим обладнанням для видувного лиття або складним вимірюванням під час процесу лиття, який швидко проходить у закритій конструкції. Крім того, моделювання можна використовувати для порівняння з вимірами.

Актуальність роботи. Складно уявити сучасний світ без простий пластикової тари, так як це найпоширеніша упаковка. Її використовують для фасування і зберігання харчових продуктів, матеріалів промислового значення. Сьогодні функціонує багато малих і великих підприємств з розливу води і напоїв, і тільки одиниці мають власне виробництво тари. Щоб виготовити якісну продукцію потрібно детально опрацювати метод її виробництва. Актуальність, описаного в даній роботі, методу розігріву преформ полягає у отриманні на виході рівнотовщинної пляшки.

Мета дослідження. Дослідити процес формування ПЕТ-тари під дією таких вхідних факторів, як розподіл температур, тиск в прес-формі, час роздуву заготовки для досягнення найбільш рівномірної та мінімальної товщини стінки сформованої тари та знайти технологічні режими, необхідні для цього.

Завдання дослідження. На основі літературних джерел, оглянути особливості процесів роздуву ПЕТ-тари та обґрунтувати базові параметри процесу. Виконати аналіз математичної моделі процесу роздуву ПЕТ-тари. Дослідити залежність розподілу товщин стінки тари від параметрів процесу.

Об'єкт дослідження. Процес формування ПЕТ- тари з урахуванням температури, в'язкості і деформативних властивостей матеріалу.

Предмет дослідження. ПЕТ-тара та обладнання для здійснення процесу роздувного формування.

Наукова новизна. Визначено початкові та граничні умови математичної моделі процесу формування. Досліджено розподіл товщини стінки ПЕТ-тари в залежності від фізичних та технологічних параметрів. На основі проведених досліджень розв'язано задачу підвищення рівнотовщинності ПЕТ- тари, отриманої методом роздуву.

Практичне значення роботи. Запропоновано методику числових досліджень процесу видуву ПЕТ пляшки з преформи з урахуванням неізотермічних граничних умов. Надано практичні рекомендації з вибору конструктивних, технологічних та фізичних параметрів для досягнення найбільш рівномірної та мінімальної товщини стінки ПЕТ тари, отриманої методом роздуву.

Зв'язок роботи з науковими програмами кафедри. Магістерська дисертація відповідає наукового напрямку кафедри ХПСМ

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ЩОДО ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

Призначення. Дослідити процеси плавлення для досягнення найбільш рівномірної та мінімальної товщини стінки ПЕТ тари, отриманої методом роздуву.

Галузь. Використовується у виробництвах ПЕТ тари.

Об'єкт дослідження. Процес формування ПЕТ- тари з урахуванням температури, в'язкості і деформативних властивостей матеріалу.

Предмет дослідження. ПЕТ-тара та обладнання для здійснення процесу роздувного формування.

Доцільність досліджень. На даний час науково не обґрунтовано взаємозв'язок між розподілом температур стінок преформи та товщиною стінок готового виробу. Тому встановлення такого взаємозв'язку дозволить отримувати ПЕТ тару з покращеними споживчими властивостями за рахунок більш доцільного розподілу товщин стінок.

В даній роботі досліджується процесу видуву пет пляшки з преформи. Розглянемо більш детально процес видуву котрий наведений далі.

Переваги ПЕТ численні. Звичайна півлітрова ПЕТ-пляшка важить близько 28 г, в той час як стандартна пляшка того ж об'єму, зроблена зі скла, може важити близько 350 г. ПЕТ абсолютно прозорий, пляшка, виготовлення з цього матеріалу, виглядає чистою, привабливою, природна прозорість матеріалу сприяє для розливу газованої води. Крім того, ПЕТ можна забарвити. Використання пластикових пляшок допомагає усунути випадки розбиття тари при транспортуванні, при цьому ПЕТ, чудово (і повністю) переробляється.

1.1 Фізичні властивості ПЕТ

Основні характеристики поліетилентерефталату [1]:

- Густина аморфного поліетилентерефталату: $1,33 \text{ г/см}^3$.

- Густина кристалічного поліетилентерефталату: $1,45 \text{ г/см}^3$.
- Густина аморфно-кристалічного поліетилентерефталату: $1,38\text{-}1,40 \text{ г/см}^3$.
- Коефіцієнт теплового розширення (розплав): $6,55 \cdot 10^{-4}$.
- Теплопровідність: $0,14 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$.
- Стисненість (розплав): $99 \cdot 10^6 \text{ Мпа}$.
- Відносне подовження при розриві: $12\text{-}55\%$.
- Температура склування аморфного поліетилентерефталату: 67°C .
- Температура склування кристалічного поліетилентерефталату: 81°C .
- Температура плавлення: $250\text{-}265^\circ\text{C}$.
- температура розкладу: 350°C .
- Границя міцності при розтягуванні: 172 МПа .
- Модуль пружності при розтягуванні: $1,41 \cdot 10^4 \text{ Мпа}$.
- Вологопоглинання: $0,3\%$.
- Допустима залишкова волога: $0,02\%$.
- Морозостійкість: до -60°C .

Поліетилентерефталат має високу механічну міцність і ударостійкість, стійкість до стирання і багаторазових деформацій при розтягуванні і вигині і зберігає свої високі ударостійкі і міцнісні характеристики в робочому діапазоні температур від -40°C до $+60^\circ\text{C}$, але для довгострокового застосування на вулиці цього матеріалу необхідний захист від ультрафіолетового випромінювання. ПЕТ відрізняється низьким коефіцієнтом тертя і низькою гігроскопічністю. Загальний діапазон робочих температур виробів з поліетилентерефталату від -60 до 170°C .

1.2 Видув ПЕТ пляшок

Автомат для видування ПЕТ-тари. Внутрішній дизайн і продуктивність обладнання значно варіюють в залежності від виробника, проте основні принципи його роботи залишаються незмінними. Вибір того чи іншого обладнання

диктується необхідним і обсягами продукції, компоновкою обладнання на вже існуючому підприємстві і, зрозуміло, ціною.

Найпростіший варіант - це завантажувані вручну машини (рис. 1), в яких нагрівач преформ і блок видування фактично є окремими частинами.



Рисунок 1 - Автомат для видування ПЕТ-тари

Такого роду обладнання призначене для виробників напоїв з дуже невеликими обсягами випуску продукції, оскільки досить дешеві, але мають достатню продуктивністю, яка, як правило, становить у машин такого типу 1000-1200 пляшок в годину у агрегаті з двома осередками для видування 1-літрових пляшок. Особливості виробництва можуть зажадати і обладнання, що представляє собою автоматизовану лінію. В такому випадку з одного її кінця форми автоматично завантажуються в машину, а з іншого - виходять готові пляшки, які знову-таки автоматично подаються безпосередньо на лінію розливу. Зазвичай в агрегатах з такою конфігурацією нагрівач преформ виконується в формі скоби, вертикальної або горизонтальної, що робиться з метою економії простору. Ротаційні машини складаються з постійно рухомого колеса, яка проводить преформи через секцію нагріву, звідки вони, після відповідного зрівнювання температури, надходять на видув. Тут преформи завантажуються в

вільні комірки, коли ті проходять повз транспортувальник, проходять стадію видування, а пляшки переправляються далі, коли карусель повернеться на 360°. Тепер машина готова прийняти нову преформу.

1.2.1 Стадії виготовлення ПЕТ-пляшки

Високошвидкісна ротаційна машина

Для того, щоб більш глибоко дослідити три вищезазначені стадії видування пляшки, розглянемо сучасну ротаційну машину для виготовлення ПЕТ-пляшок. Ротаційні машини мають перевагу, вони економні у виробничих площах, бо вони компактності. Преформи можуть завантажуватися з тієї ж сторони, звідки виходять готові пляшки, а три інших боки машини залишаються вільними для доступу та огляду. Існують і машини, в які преформи подаються безпосередньо навпроти того місця, звідки виходять пляшки: таке обладнання призначене для включення його в ланцюжок автоматичних виробничих ліній. Можливість розташувати ротаційну секцію нагріву вище секції видування і таким чином використовувати ресурс висоти, заощадивши площу, також говорить на користь компактного зовнішнього дизайну такого роду обладнання.

У звичайній SBM-машині преформи із основного завантажувального бункера за допомогою підйомника поступають в розподільник, в якому вони автоматично приймають положення, необхідне для їх надходження в систему, а потім по спіральному підйомнику піднімаються наверх. Подавальна спіраль правильно розташовує преформи і переправляє їх в основний робочий відділення машини, де вони надходять на подає зубчасте колесо. Кожна преформа захоплюється за кільце на шийці спеціальними цапфами і в перевернутому положенні подається на карусель нагріву, яка проносить їх крізь камеру нагріву (рис. 2, 1). Там вони набувають температуру, яка робить їх досить м'якими для подальшого видування повнорозмірною пляшки. Усередині камери нагріву преформи постійно обертаються навколо своєї осі, для того, щоб нагрівання було рівномірним. Після виходу з камери нагріву розігріті преформи протягом

певного часу залишаються для зрівнювання температури, а потім подаються у відкриті форми для видува пляшок (рис. 2, 2). Форми ці розташовуються поруч з камерою нагріву або під нею. Як тільки форма закривається (рис. 2, 3), преформа негайно витягується і попередньо надувається (рис. 2, 4). Розтягування виконується механічно за допомогою спеціального розтягувального стрижня, який вставляється в горлечко майбутньої пляшки і опускається вниз, у бік її дна. В результаті цього розм'якшення преформа подовжується. Глибина ходу стрижня регулюється механічно і залежить від розміру і форми майбутньої пляшки. Потім протягом секунди триває фаза видування, що проходить при високому тиску, в ході якої пляшка набуває свою остаточну форму (рис. 2, 5). Розтягувальний стрижень виймається, пляшка охолоджується, після чого форма відкривається і випускає готову пляшку.

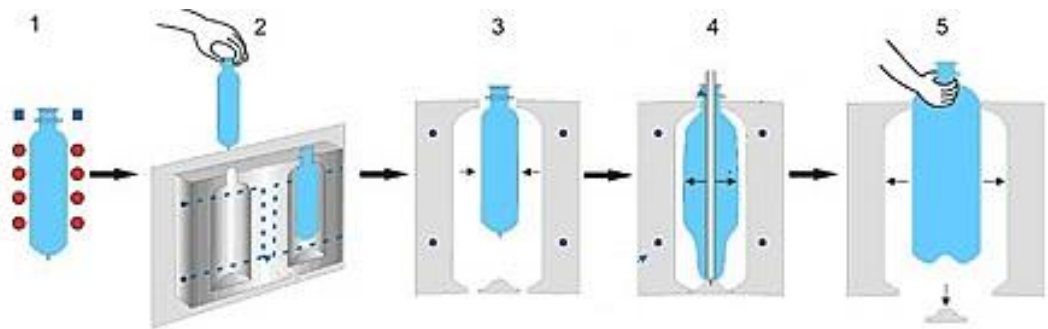


Рисунок 2 - Стадії виготовлення ПЕТ-пляшки

Перед тим, як преформи подаються в секцію нагріву, вони ще на спіралі проходять перевірку автоматичної станції контролю якості. Перевіряються шийку, в подальшому призначену для закупорювання кришкою, і поперечний переріз преформи. На цій стадії відбраковуються преформи з дефектним шийкою або ті, що продемонстрували недостатню овальність. В процесі нагрівання в типовій SBM-машині преформи, надіті на спеціальні стрижні, сліду-ють через інфрачервону камеру нагріву, в якій набувають температуру, необ-хідну для розтягування і видування. Преформи послідовно проходять через

ряд нагрівальних блоків, що складаються з інфрачервоних нагрівачів з рефлекторними пластинами, що запобігають нагрів певних ділянок преформи. Це особливо важливо, оскільки, незважаючи на те, що нагрівається вся преформа окрім горлечка, в процесі видування потрібно, щоб різні зони преформи мали різну температуру. Тільки в такому випадку пляшка вийде такою, як заплановано. Розмір і форма видутої пляшки є факторами, що визначають так званий температурний профіль, тобто температурний режим для окремих ділянок преформи в процесі її перетворення в пляшку. Виробники обладнання повинні забезпечувати достатню гнучкість установок температурного режиму з тим, щоб на виході забезпечувалася найкраща якість пляшки. Для варіювання температурного профілю кожен нагрівальний блок, що входить до складу нагрівальної камери, оснащений дев'ятьма окремими розташованими вертикально один над одним нагрівальними елементами, які нагрівають різні ділянки преформи. Ступінь їх нагрівання регулюється незалежно один від одного з контрольної панелі, що дозволяє оператору не тільки задавати той чи інший температурний профіль і поступово підвищувати температуру, з проходженням преформи по зоні нагріву. Ділянка преформи, що прилягає до шийки, часто вимагає більше тепла, ніж інші ділянки. Так, елементи, "відповідальні" за цю зону, повинні бути могутніші і більш численними. Уже повністю сформованої на стадії виготовлення преформи горлечко захищається від нагрівання екраном з водяним охолодженням. Число нагрівальних блоків і швидкість проходження преформи через камеру нагріву залежить від кількості видувних форм в машині і від ваги преформ, що нагріваються. Оскільки ПЕТ погано проводить тепло, необхідно охолоджувати зовнішню поверхню преформи, коли вона знаходиться між нагрівальними блоками камери нагріву. В іншому випадку поверхня перегрілася б, що може привести до небажаної кристалізації. Це проміжне охолодження здійснюється за допомогою повітряних насосів, розташованих між кожними нагрівальними блоками. Так преформа з одного боку поступово піддається нагріванню, а з іншого, поверхня преформи постійно охолоджується.

Після нагріву для корекції температурного профілю преформи проходять особливу стадію обробки, спрямовану на урівноваження температури (еквілібрацію). Еквілібрація, по суті, означає розподіл температури ПЕТ в прямій залежності від товщини стінок. Цей важливий етап, який повинен бути ретельно прорахований. Якщо період еквілібрації занадто короткий, стінки пляшки вийдуть нерівномірними по товщині. Якщо період занадто затягнеться, ретельно вивірений температурний профіль буде порушений, і в такому випадку занадто багато тепла надійде в зону горлечка, викликаючи деформацію останнього при подальшій обробці. Видув пляшки здійснюється при температурі близько 110 ° С.

Розігріті преформи потім надходять в секцію видування. Пристрій подачі стежить за тим, щоб преформи були правильно розташовані щодо форм, в які вони надходять з великою швидкістю.

"Класична" форма для ПЕТ-пляшки складається з трьох частин: двох бічних стінок, що відкриваються у вертикальній площині, і бази, що рухається вгору і вниз. Як тільки преформа займає відповідне становище, форма закривається. Рухома база (дно) рухається вгору, а стінки замикаються навколо неї. Все це відбувається одночасно: три складові частини з'єднуються міцно. У той же самий час розтягувальний стержень починає свій рух вниз. Оскільки він займає положення, необхідне для початку розтягування преформи, в той момент, коли форма закривається, робочий цикл займає менше часу і втрати тепла скорочуються. Преформа розтягується у вертикальній площині і попередньо видувається під тиском в 25 бар. Пляшка на цій стадії видувається до 80-90% свого повного розміру. Оскільки дуже важливо не пошкодити шийку, машини забезпечені спеціальними насадками, через які подається повітря. Вони виконані у формі дзвону і оберігають шийку і прилеглу до нього частину від ушкоджень. Потім подається високий (40 бар) тиск, і на цій стадії пляшка набуває свою остаточну форму. Притискаючись до холодних стінок форми, пляшка охолоджується, стає досить жорсткою і, таким чином, вже готова негайно

покинути форму, коли та відкриється. Щоб уникнути викривлення стінок тиск всередині пляшки стабілізується до відкриття форми.

Після охолодження і під час зберігання ПЕТ-пляшки трохи стискаються, тому машина контролює ступінь охолодження пляшки шляхом підігріву форми. Це робиться для того, щоб матеріал "відпочивав" і пляшки в подальшому стискалися менш інтенсивно. Це дозволяє звести до мінімуму різницю в розмірах між пляшками, випущеними в різний час, що має значення при розливі: відмінність в розмірах наповнюються пляшок може викликати непередбачені труднощі в роботі розливного обладнання [2].

2 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

2.1 Літературний огляд

У роботі [3] комп'ютерна імітаційна модель, представлена в роботах [4, 5], застосовується до розтягувального процесу для виробництва ПЕТ пляшок. Модель раніше була розроблена авторами для імітації 2D осьово-симетричного ударного процесу для виробництва скляних контейнерів. Модель побудована на методах кінцевих елементів і використовує метод встановлення рівня для відстеження інтерфейсів між повітрям і матеріалом. Він був успішно випробуваний для реалістичних застосувань у скляній промисловості, а також був використаний для оптимізації товщини контейнера [6, 7].

Реологічна поведінка

Було проведено багато досліджень щодо реологічного впливу полімерів. По суті, в літературі було введено три різні моделі для опису механіки розплаву полімеру, що підлягає видуву, а саме: гіпереластичні, в'язко-еластичні та в'язкопластичні моделі. Що стосується короткого часу видуву (0,5 с), то можна припустити комбінацію високоеластичних та пружних моделей [8, 9]. Зокрема, у попередніх роботах пропонуються ізотермічні, високоеластичні моделі, багато з яких були вперше розроблені для термоформувальних процесів [8, 10, 11]. Проте, високоеластичні моделі мають труднощі з належною характеристикою матеріалу та прогнозом часу, що залежить від поведінки полімеру під час процесу видуву [9, 12]. Крім того, в роботі [13] було зазначено, що поведінка ПЕТ залежить від високої швидкості, що є ефектом, який, як правило, не може мати справу з високоеластичними моделями. В'язко-еластичні і та в'язкопластичні моделі враховують як напруження, так і швидкість деформації. Вискоеластичні моделі широко використовувалися для ударних процесів розтягування у літературі. Наприклад, у [14] була використана високо-еластична модель K-BKZ, яка імітує процес ударів. У роботі [15] для опису

механічного поведінки ПЕТ під час процесу розтягування був використаний рідкоподібний в'язко-пружне конститутивне рівняння типу Джонсона-Сегалмана. Результати моделювання добре узгоджуються з експериментальними даними. У [16] модель Крістенсена була модифікована у вискоеластичну модель. Нарешті, в [17] модель Баклі-Джонса була використана для моделювання конститутивної поведінки ПЕТ у процесі розтягування. Вискоеластичні моделі також можуть розраховувати релаксацію напружень при розтягуванні роздувом, що є домінуючим способом деформації при відносно повільних процесах деформації, таких як екструзія. Однак через короткий час тривалості процесу розтягування, втрата точності в результаті пропускання релаксації напружень є неприпустимою, тоді як час обчислення може бути значно зменшений [18]. Це може бути мотивацією використання в'язкопластичної моделі. Ще однією перевагою вискоеластичних моделей є те, що вони, як правило, дуже стабільні, а труднощі з конвергенцією зустрічаються при використанні гіпереластичних або в'язкопружних моделей [18]. Вязкопластичні моделі переважно використовуються для процесів обробки металів, але не широко використовувались для видувного формування. Вископластичні моделі для розтягування виливків були запропоновані в [19-22].

Крім того, запропоновано декілька різних моделей вищезгаданого для видувного формування. Наприклад, у [23] була запропонована еласто-вископластична модель, а в [24] було використано гіпоплазматичну залежність. Для останньої моделі було зроблено висновок, що модель в розумній якості узгоджується з експериментальними результатами, але модель не змогла точно передбачити форму контейнера.

У цій роботі для опису реологічної поведінки полімеру використовується в'язкопластична модель, представлена в [20, 25, 26]. Модель заснована на правилі потоку Леві-Мізеса (1):

$$dev(\sigma) = \frac{2}{3} \frac{\bar{\sigma}}{\dot{\bar{\epsilon}}} \dot{\bar{\epsilon}} \quad (1)$$

де $\dot{\bar{\epsilon}}$ – тензор швидкості деформації другого рангу та еквівалентні деформація (2) $\dot{\bar{\epsilon}}$ і напруження (3) $\bar{\sigma}$

$$\dot{\bar{\epsilon}} = \sqrt{\frac{2}{3} \dot{\epsilon} : \dot{\epsilon}} \quad (2)$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2} dev(\sigma) : dev(\sigma)} \quad (3)$$

де $:$ – подвійний скалярний добуток тензорів.

У [19, 20] поведінка матеріалу визначалася шляхом одновісного випробування на розтягування. З тесту було виведено таке співвідношення (4):

$$\bar{\sigma} = k(T) \dot{\bar{\epsilon}}^m \quad (4)$$

У [22, 27] була запропонована матеріальна модель (5) G'Sell-WLF для реологічної поведінки ПЕТ:

$$k(T) = k_0 \exp\left(\frac{C_1(T - T_{ref})}{C_2 + T + T_{ref}}\right) (1 - \exp(-A\gamma)) \exp(B\gamma^C) \dot{\bar{\epsilon}}^m \quad (5)$$

де γ – кумулятивна швидкість деформації. Якщо константи A та B не приймаються до уваги, одновісний тест на розтяг в (4) отримується з

$$k(T) = k_0 \exp\left(\frac{C_1(T - T_{ref})}{C_2 + T + T_{ref}}\right) \quad (6)$$

У (6) можна визнати рівняння WLF для температурної залежності в'язкості [28]. Нарешті, підстановка (4) в (1) призводить до ізотропного потоку в'язкого полімеру (7):

$$dev(\sigma) = 2\mu\dot{\epsilon} \quad (7)$$

з неньютонівської в'язкістю (8):

$$\mu(\dot{\epsilon}, T) = \frac{k(T)}{3} \dot{\epsilon}^{m-1} \quad (8)$$

2.2 Патентний огляд

В ході патентного огляду було проаналізовано ряд патентних рішень. Деякі з них представлені далі.

У винаході [32] запропоновано пристрій для лиття під тиском (рис. 4) преформи (рис. 3) (101) у формі пробірки для двостороннього розтягування та формування видувним способом, в якому заготовка складається з другого шару (101b), що служить як проміжний шар, ламінований основними смоляними шарами (101a), які утворюють форму заготовок (101). Пристрій має секцію для насадки (11) для формування з'єднаної смоляної рідини, дозволяючи другу смолу (Rb) для формування другого полімерного шару (101b) для з'єднання основної смоли (Ra) для формування основних смолових шарів (101a) і форму (1), розташовану перед ділянкою сопла (11). Розріз (11) для насадки містить: три циліндричних шари-формуєчі проточні канали, включаючи зовнішній проточний канал (15a), канал середнього каналу (15b) та внутрішній канал потоку (15c) у зовнішньому порядку. Секція насадки додатково містить приєднаний канал потоку (19), з'єднаний з цими трьома каналами потоку і витягнутий до головки секції (11) сопла. Основна смола (Ra) пропускається через

та через основу. Перехідна область розташована окремо від першого кінця, де матеріал матеріалу одного шару переходить у багаторівневу матеріальну частину.

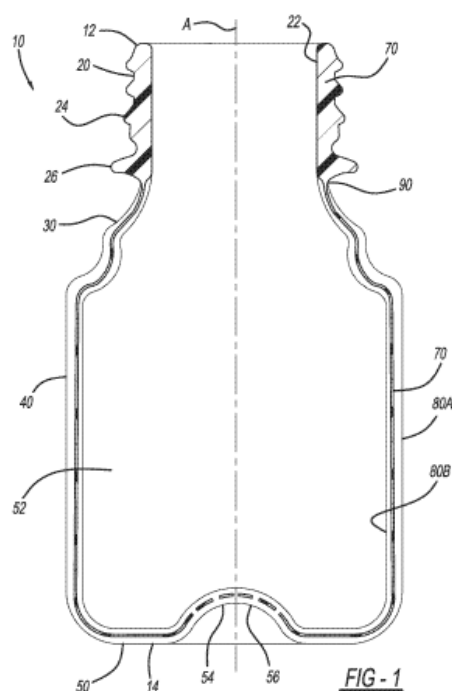


Рисунок 5 – Контейнер (1)

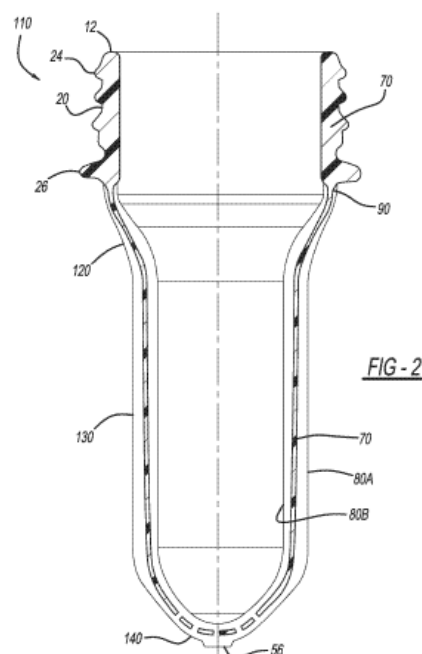


Рисунок 6 – Контейнер (2)

Проблема, яка розв'язується в [34]: забезпечити одношаровий виріб і багат шаровий виріб, який має формований матеріал і спосіб екструзійного формування виробу. Рішення: в кращому варіанті здійснення, щонайменше, частина заготовки 30 (рис. 7) містить матеріал, який може розширюватися, щоб утворити тепловий бар'єр або бажану обробку. Заготовка 30 нагрівається до температури, придатної для видувного формування, і щонайменше частина матеріалу розширюється. Заготовку видувують формуванням в контейнер 37 (рис. 8). В одному пристрої заготовка являє собою одношарову заготовку. В іншому варіанті заготовка являє собою багат шарову заготовку.

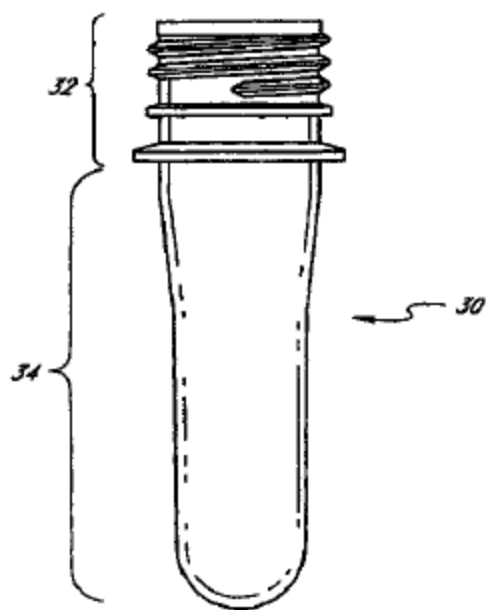


Рисунок 7 - Заготовка

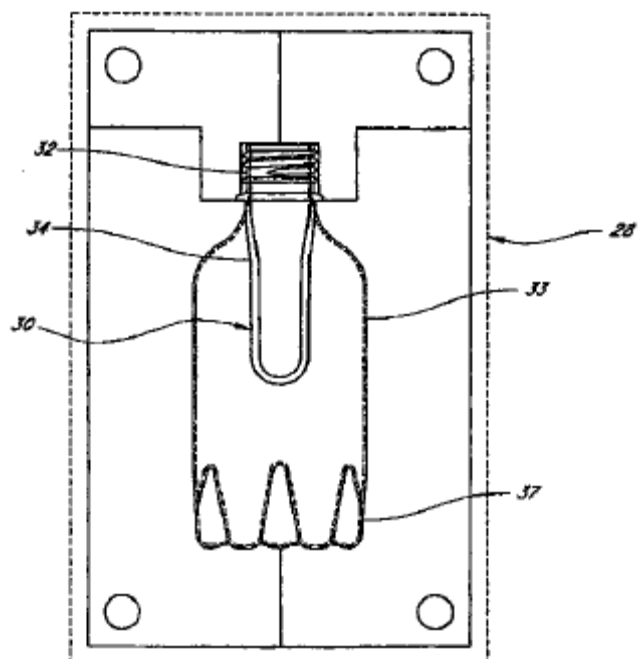


Рисунок 8 – Видув заготовки в контейнер

Багатошарова пластикова заготовка [35] (10) (рис. 9), призначена для використання у пластичному формуванні для видування, включає в себе внутрішній шар (18), що не містить ін'єкцій, з незаповненим пластиком, що має зовнішній кільцевий фланець (20) на відкритому кінці (14) заготовок. Внутрішній шар (24) для вторинного пластику пост-споживача покриває внутрішній шар (18) і має нитку (26) для закріплення затвора, і ця різьба (26) розташована в напрямку закритого кінця (12) заготовок від кільцевого фланця (20) внутрішнього шару (18), щоб тим самим забезпечити конструкцію, що дозволяє збільшувати використання переробленого пластику. Заготовка (10) може бути забезпечена проміжним шаром (22) газового бар'єрного матеріалу, коли контейнер, який буде видуваний із заготовки, повинен використовуватися для зберігання рідких газових рідин, таких як прохолодні напої.

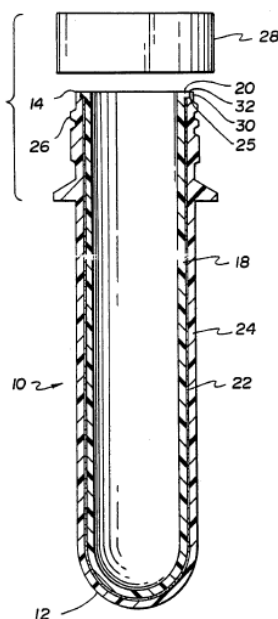


Рисунок 9 - Багатошарова пластикова заготовка

Багатошарова заготовка [36] (рис. 10) включає в себе: пластикову внутрішню прокладку (а), яка складається з циліндричного тіла, яка може містити або не включати конічну кільцеву частину плеча і циліндричну частину шийки, що проходить угорі від тіла, і формований зовнішній шар (б). Перед тим, як зовнішній шар виготовлений над пластиковим внутрішнім вкладишем, принаймні частина вкладиша кристалізується за допомогою процесу термічної обробки.

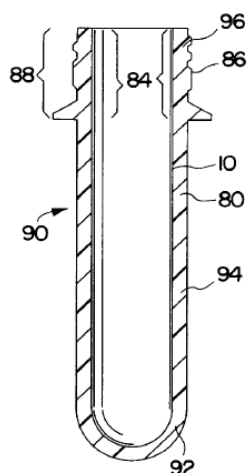


Рисунок 10 - Багатошарова заготовка

Формований зовнішній шар може включати в себе засіб для отримання запірного пристрою. Коли заготовок знаходиться у прийнятному діапазоні температур для орієнтації, багат шарова заготовок може бути видута таким чином, щоб утворити багат шаровий контейнер з покращеними властивостями.

Спосіб виготовлення пластикової пляшкової форми [37] (рис. 11), виготовленої здувом, починаючи з заготовки, включає в себе забезпечення заготовки з конкретним розподілом товщини стінки та формування ударної форми, порожнина форми, що має принаймні один канал у місцях розташування пластикової пляшки, що до бути посиленням. Згодом заготовка нагрівається таким чином, що частина заготовок, корелюючої з каналом порожнини, уповільнюється меншою мірою під час розтягування та / або удару, а в каналі відбувається накопичення пластмасового матеріалу під час основної операції видувного видування. Пластмасова тара, виготовлена в цьому процесі, має стійкі елементи, утворені, як мінімум, з однієї сторони виступаючої крихти матеріалу і мають товщину стінки щонайменше на 30%, більшу за товщину стінки частини стіни, яка прилягає до кульки матеріалу.

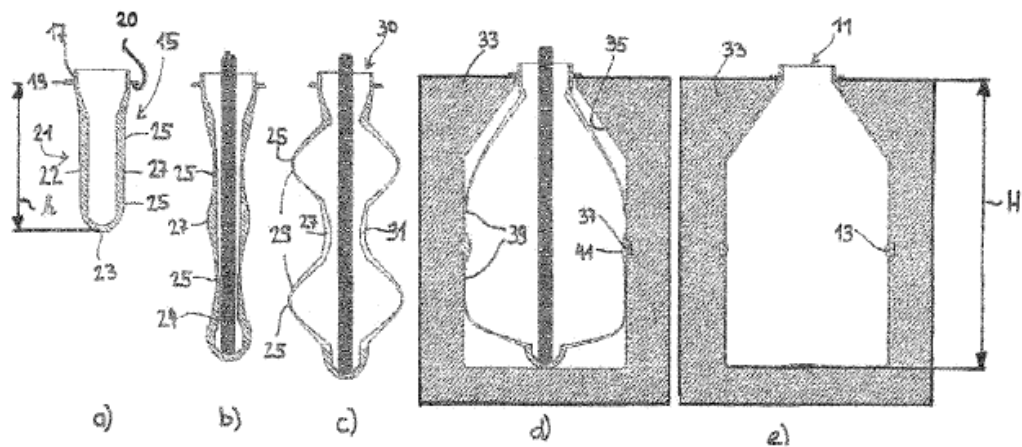


Рисунок 11 - Спосіб виготовлення пластикової пляшкової форми

2.3 Опис поданого патенту на корисну модель

Спосіб включає механічне деформування розігрітої преформи в осьовому напрямку з наступним її роздуванням стисненим повітрям в радіальному напрямку всередині форми (рис. 12-14), при цьому роздування преформи здійснюють через проміжну еластичну діафрагму. Проміжну еластичну діафрагму виконують змінної товщини.

Забезпечується регульованість товщини стінок одержуваного виробу по їх висоті (у тому числі рівнотовщинність) [38].

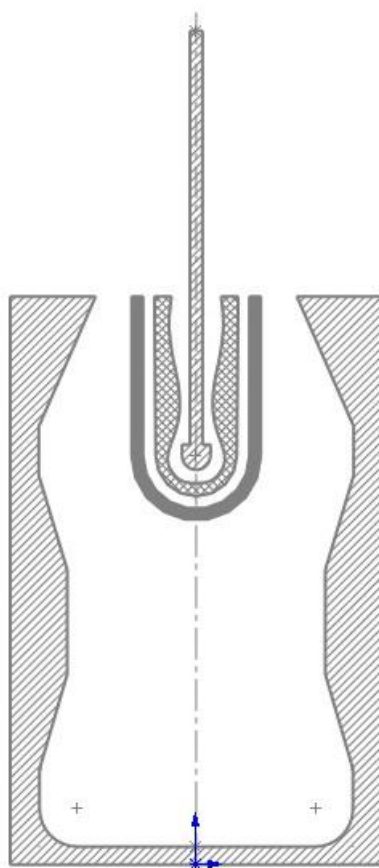


Рисунок 12 – Вигляд до початку видуву

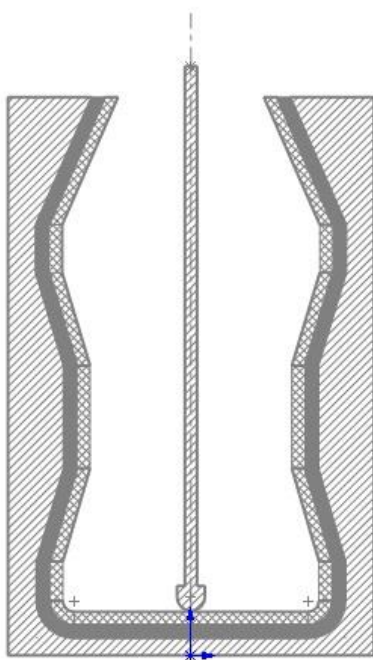


Рисунок 13 – Механічне деформування розігрітої преформи в осьовому напрямку та роздування стисненим повітрям в радіальному напрямку всередині форми

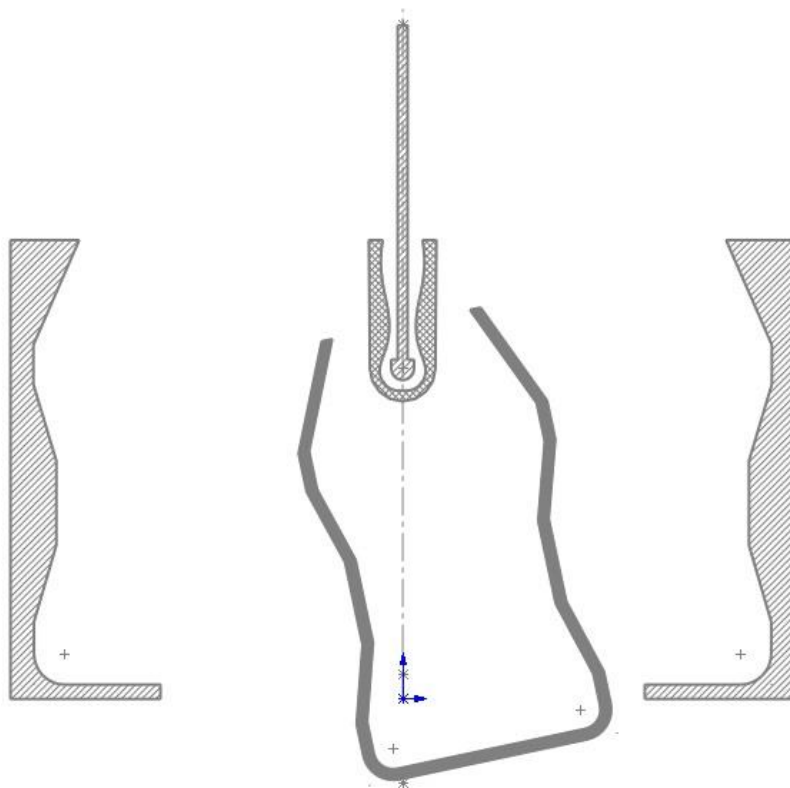


Рисунок 14 – Розкрита форма з якої вилучають готовий виріб

2.4 Висновки до розділу 2

1. В результаті огляду джерел визначено діапазони параметрів процесу видуву та варіанти законів для опису стану перероблюваного матеріалу.
2. В результаті проведеного патентно-літературного огляду визначено доцільність та напрямки модернізації процесу видуву ПЕТ-тари з преформи.
3. Подано заявку на вдосконалений спосіб видуву ПЕТ-тари з преформи який дає змогу покращити рівнотовщинність готових пакувальних виробів.

3 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИДУВНОГО ФОРМУВАННЯ ПЕТ-ТАРИ З ПРЕФОРМ

3.1 Постановка задачі

Система рівнянь, яка описує механіку процесу видування пет-тари, за роботою [3] включає рівняння збереження кількості руху та маси для нестисливої рідини (9-11):

$$\rho \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \rho \mathbf{g}, \quad (9)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0, \quad (10)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = -\nabla \cdot \mathbf{q} + \boldsymbol{\sigma} : \nabla \mathbf{u}, \quad (11)$$

де $\frac{d(\quad)}{dt} = \frac{\partial(\quad)}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla(\quad)$ – означає матеріальну похідну за часом; t – час, с;

ρ – густина, кг/м³; \mathbf{u} – вектор швидкості, м/с; ∇ – оператор Гамільтона; $\boldsymbol{\sigma}$ – тензор напруження другого рангу, Па; \mathbf{g} – вектор прискорення вільного падіння, м/с²; c_p – масова ізобарна теплоємність, Дж/(кг·К); $\mathbf{q} = -\lambda \nabla T$ – вектор густини теплового потоку, Вт/м²; T – абсолютна температура, К; λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К); $(:)$ – оператор подвійного скалярного добутку.

Для ізотропних в'язких рідин рівняння стану для тензора напруження $\boldsymbol{\sigma}$ (12) дається формулою:

$$\boldsymbol{\sigma} = 2\eta(\dot{\gamma})\dot{\boldsymbol{\epsilon}} - p\mathbf{I} \quad (12)$$

де тензор швидкості деформації відноситься до швидкості потоку як (13):

$$\dot{\boldsymbol{\varepsilon}} = \frac{1}{2}(\nabla \mathbf{u} + \nabla \mathbf{u}^T) \quad (13)$$

Залежність в'язкості від швидкості зсуву виражена степеневим законом (14):

$$\eta(\dot{\gamma}) = K(\lambda \dot{\gamma})^{n-1} H(T) \quad (14)$$

де K – коефіцієнт консистенції, Па·с; λ – період релаксації, с; n – індекс течії; $\dot{\gamma} = \sqrt{\frac{1}{2} \dot{\boldsymbol{\varepsilon}} : \dot{\boldsymbol{\varepsilon}}}$ – другий інваріант від $\dot{\boldsymbol{\varepsilon}}$, с⁻¹.

$$H(T) = \exp \left[\frac{E_a}{RT_a} \left(\frac{1}{T - T_0} - \frac{1}{T_a - T_0} \right) \right] \quad (15)$$

де E_a – енергія активації течії, Дж/моль; R – газова стала, Дж/(моль·К); T_a – абсолютна температура активації, К; T_0 – абсолютна температура відліку, К; T_a – абсолютна температура активації, К.

Для замикання постановки задачі (9)–(15) необхідно додати відповідні початкові та граничні умови.

3.3 Еволюція поверхонь: метод встановлення рівнів

Метод встановлення рівня використовується для встановлення поверхонь у задачі про течію двофазного потоку рідини. Методи встановлення рівня ґрунтуються на неявному формуванні поверхонь за допомогою так званих функцій

встановлення рівнів, що дозволяє вирішити проблему течії двофазного потоку на фіксованій сітці в області течії. Поки конституційні рівняння сформульовані у домені всього потоку, методи диференціації рівня можуть бути використані для диференціації властивостей матеріалу. Метод встановлення рівня, описаний у даній роботі, був раніше представлений для моделювання процесів формування скла [4, 5, 29].

Методи встановлення рівня видаються привабливими для цієї проблеми, оскільки поверхні точно зафіксовані, природно розглядаються топологічні зміни та уникають складних алгоритмів з'єднання. Інші переваги методів встановлення рівнів є відносно легким узагальненням до трьох вимірів та прямого розрахунку властивостей поверхонь, таких як нормаль та кривизна. Недоліком методів встановлення рівня є те, що вони загалом не консервативні.

Основна ідея методів встановлення рівнів полягає в тому, щоб вставити кожен рухливу поверхню між полімерним, повітряним доменами та стрижнем як набір нульових рівнів функції встановлення рівня ϕ . Рівняння руху поверхонь випливає з того, що матеріальна похідна від рівня набору функції дорівнює нулю (16):

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\partial\phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla\phi = 0 \quad (16)$$

Спочатку функція встановлення рівня визначається як задана евклідова функція відстані до поверхонь. Швидкість потоку \mathbf{u} визначається шляхом вирішення проблеми потоку (15-16) та граничних умов. Кожна полімерна поверхня відповідає нульовому рівню встановленої функції одного рівня, що означає, що дві задачі заданого рівня повинні бути вирішені для захоплення обох поверхонь. Крім того, щоб повністю уникнути переміщення алгоритмів сітки, також поверхня розтягувального стержня описується функцією набору рівнів. Проте завдання заданого рівня розтягувального стержня, що рухається з постійною швидкістю $u_r = V_{rez}$ тривіально, як (17):

$$\phi_r(x, t) = \phi_{r,0}(x + u_r \min\{t, t_{stretch}\}) \quad (17)$$

де $\phi_r(x, t)$ функція встановлення рівня, відповідна розтягувальному стержню в положенні x $t, t_{stretch}$ це час на розтягування (18):

$$\phi_{r,0}(x) = \phi_r(x, 0) \quad (18)$$

На закінчення, три функції встановлення рівнів використовуються для опису еволюції рухомих поверхонь: ϕ_i для внутрішньої поверхні полімеру, ϕ_0 для поверхні полімеру та ϕ_r для поверхні стінок стрижня. Функції встановлення рівня ϕ_i і ϕ_0 визначаються шляхом вирішення і ϕ_r задано формулою (17). На рис. 3.1 наведено огляд доменів континууму та відповідних знаків функцій встановлення рівнів. Домени континууму визначаються наступним чином (рис. 15):

$$\text{повітря} \quad : \quad \max\{\min\{\phi_i, \phi_0\}, \phi_r\} < 0,$$

$$\text{полімер} \quad : \quad \min\{\phi_i, \phi_0\} > 0,$$

$$\text{розтягувальний стрижень} \quad : \quad \phi_r > 0.$$

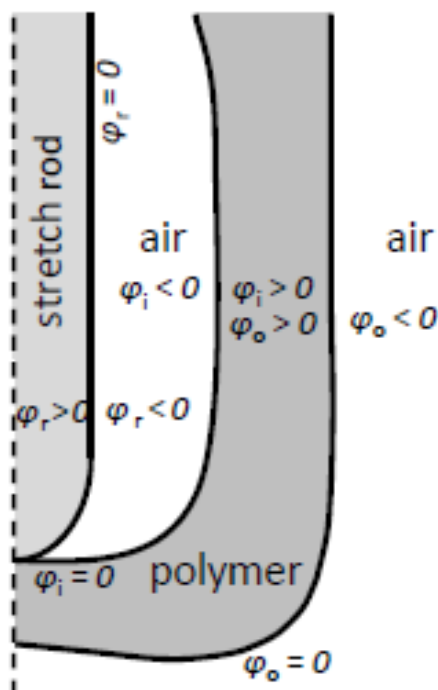


Рисунок 15 - Загальні функції повітря

Одна з труднощів, що виникають у методах встановлення рівнів, полягає у підтримці бажаної форми функції встановленого рівня. Швидкість потоку не зберігає властивості заданої відстані, але може значно спотворити і розтягнути форму функції, що в підсумку призводить до додаткових чисельних труднощів [30, 31]. Щоб уникнути цього, еволюція функції встановленого рівня зупиняється в певний момент часу, щоб відновити задані зв'язки. Цей процес називається повторною ініціалізацією.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Визначено граничні та початкові умови математичної моделі та запропоновано адаптацію математичної моделі для числового моделювання
2. Складено математичну модель видувного формування ПЕТ-тари.
3. Для визначення форми виробу застосовано функції форми, які дають змогу контролювати об'єм заготовки та тари в процесі видуву.

4 ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Експериментальна частина

Для проведення експерименту була обрана ПЕТ пляшка (рис. 16).



Рисунок 16 – Фото ПЕТ пляшки для експериментального дослідження

На пляшці були зроблені засічки з допомогою циркуля.

Лінійкою вимірюємо висоту на якій знаходиться кожна позначка. А також штангенциркулем вимірюємо діаметр пляшки на позначках. Виміри дали змогу виконати подальше креслення для моделювання процесу видуву.

Наступним етапом було розрізання об'єкту дослідження для виміру товщин стінок. Товщину виміряно з допомогою штангенциркуля. Результати вимірювань представлені на рисунку 17.

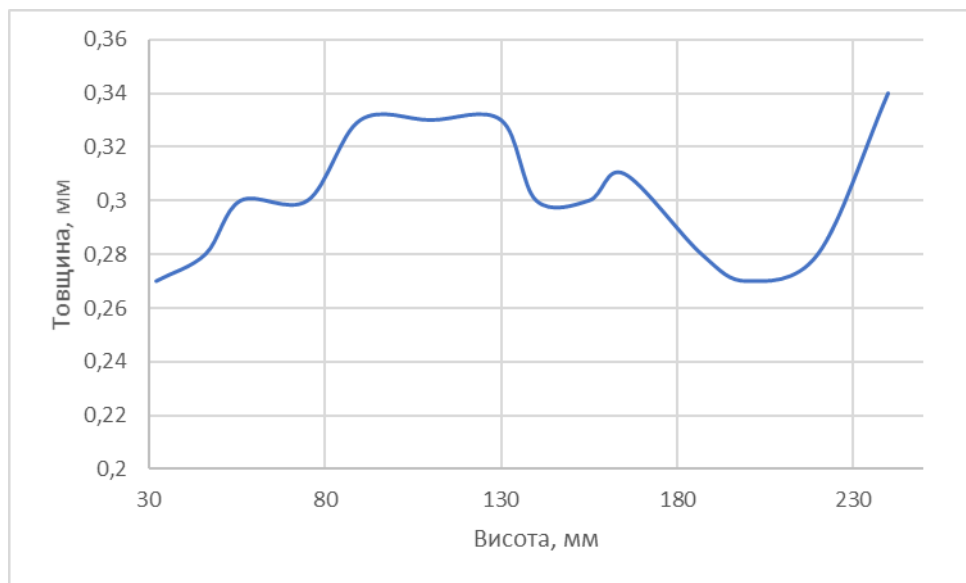


Рисунок 17 – Розподіл товщини стінки по висоті пляшки

4.1.1 Методика розрахунку похибок вимірювання фізичних величин

Розрахунок похибки середнього результату вимірювань фізичних величин здійснено згідно методики, що наведена в [39].

Дослідно-інструментальну похибку середнього результату вимірювань фізичної величини \bar{x} визначають за формулою:

$$\sigma_{\text{дін}}(\bar{x}) = \sqrt{\sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} \quad (19)$$

де σ_v , $\sigma_{пр}$, $\sigma_{окр}$ – похибки первинного вимірювання, приладу та округлення, відповідно:

$$\sigma_v = \frac{\Delta_{дпп}}{3} \quad (20)$$

$$\sigma_{пр} = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_0}{100} D_{вим} \right) \quad (21)$$

$$\sigma_{окр} = \frac{C}{\sqrt{12}} \quad (22)$$

де $\Delta_{дпп}$ – довідникова похибка приладу; γ_0 – клас точності приладу; $D_{вим}$ – діапазон вимірювання приладу; C – ціна поділки шкали (ступінь дискретизації цифрового відліку) приладу.

Випадкова похибка середнього результату становить:

$$\theta(\bar{x}) = \zeta \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (23)$$

де x_i – i -й результат вимірювання; ξ – коефіцієнт Стюдента, який залежить від довірчої імовірності P_d і кількості вимірювань n .

Повна похибка вимірювання обчислюється за формулою:

$$\sigma(\bar{x}) = \sqrt{\sigma_{дпп}^2(\bar{x}) + \theta^2(\bar{x})}, \quad (24)$$

Значення фізичної величини для довірчої імовірності 0,9:

$$x = \bar{x} \pm \sigma(\bar{x}) \quad (25)$$

Похибку середнього результату непрямих вимірювань фізичних величин виконуємо в такій послідовності.

Дослідно-інструментальну помилку середнього результату вимірювань фізичної величини \bar{x} визначають за формулою:

$$\sigma_{\text{дін}}(\bar{x}) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{\text{дін}}^2(x_1) + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{\text{дін}}^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_k}\right)^2 \sigma_{\text{дін}}^2(x_k)} \quad (26)$$

де $x = F(x_1, x_2, \dots, x_k)$ – залежність шуканої величини x від величин x_i ($i = 1, n$), що безпосередньо вимірюють.

Випадкова помилка середнього результату в цьому разі становить:

$$\theta(\bar{x}) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 \theta^2(x_1) + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 \theta^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_k}\right)^2 \theta^2(x_k)} \quad (27)$$

Остаточно повну похибку непрямого вимірювання фізичної величини з урахуванням (24) і (25) визначають за залежністю (22), а значення фізичної величини для довірчої імовірності 0,68 – за залежністю (23).

4.1.2 Розрахунок похибки вимірювання товщини стінки пляшки

Для розрахунку похибки вимірювання товщини стінки виробу користуємось штангенциркулем, діапазон вимірювань якого становить 150 мм, точність до 0,01 мм, а похибка = 0,02 мм (рис. 17).

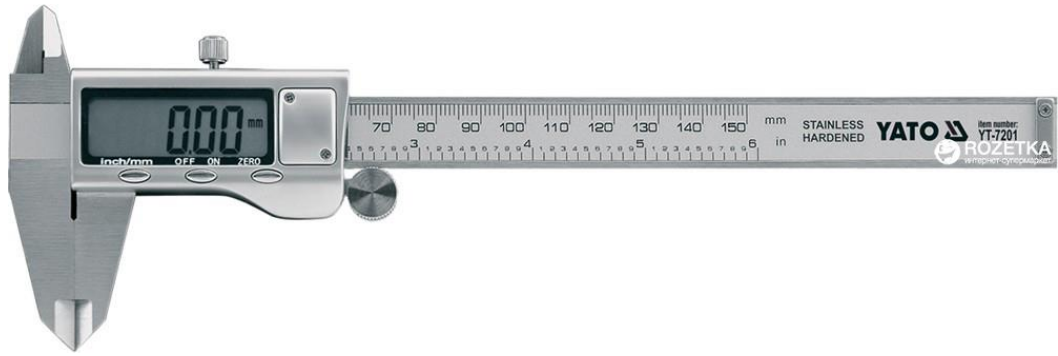


Рисунок 17 – Штангенциркуль

Похибка вимірювання згідно з (20):

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{\Delta_{\text{дпп}}}{3} = \pm \frac{0,02}{3} = 0,0067 \text{ мм},$$

де $\Delta_{\text{дпп}} = \pm 0,02$ мм довідникова похибка штангенциркуля.

Похибка приладу згідно з (21) дорівнює:

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_0}{100} D_{\text{вим}} \right) = \frac{1}{3} \left(\frac{2}{100} \cdot 0,34 \right) = 0,0023 \text{ мм},$$

де $\gamma_0 = 2$ – клас точності штангенциркуля; $D_{\text{вим}} = 0,34$ мм – діапазон вимірювання товщини виробу.

Похибка округлення згідно з (22) становить:

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}} = \frac{0,001}{\sqrt{12}} = 0,00029 \text{ мм}.$$

Остаточне значення дослідно-інструментальної помилки (19):

$$\sigma_{\text{дін}}(\delta) = \sqrt{\sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} = \sqrt{0,0067^2 + 0,0023^2 + 0,00029^2} = 0,007 \text{ мм}$$

Далі визначаємо величину випадкової помилки середнього результату вимірювання товщини стінки готової тари. цього обрано циліндричну частину пляшки на висоті 140 мм та проведено 5 замірів товщини стінки (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати вимірювань товщини стінки пляшки

№	Діаметр пляшки, мм	Товщина стінки, мм
1	77	0,33
2	77	0,33
3	77	0,3
4	77	0,3
5	77	0,31

Середнє арифметичне значення товщини стінки:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i = \frac{1}{5} (0,33 + 0,33 + 0,3 + 0,3 + 0,31) = 0,314 \text{ мм.}$$

Випадкова помилка середнього результату:

$$\theta(\bar{\delta}) = \xi \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{\delta} - \delta_i)^2} = 0,0081 \text{ мм}$$

де $\xi=1,2$ – значення коефіцієнта Стьюдента для $P_{\text{д}} = 0,68$ і $n = 5$.

Повна похибка товщини стінки пляшки (24):

$$\sigma(\bar{\delta}) = \sqrt{\sigma_{\text{дип}}^2(\bar{x}) + \theta^2(\bar{x})} = \sqrt{0,007^2 + 0,0081^2} = 0,012 \text{ мм.}$$

Значення товщини стінки пляшки (25):

$$\delta = \bar{\delta} \pm \sigma(\bar{\delta}) = \bar{\delta} \pm 0,012 \text{ мм.}$$

Відношення повної похибки товщини стінки до діапазону вимірювання:

$$X1 = \frac{0,012}{77} \cdot 100\% = 0,15 \%$$

4.1.3 Розрахунок похибки вимірювання висоти пляшки

Для проведення замірів висоти пляшки використано лінійку, що має діапазон вимірювання 50 см, похибку – 0,05 мм. Для знаходження похибки використовується аналогічний алгоритм.

Похибка вимірювання (20):

$$\sigma_v = \frac{\Delta_{\text{дпп}}}{3} = \pm \frac{0,05}{3} = 0,0167 \text{ мм}$$

довідникова похибка вимірювання:

$$\Delta_{\text{дпп}} = \pm 0,05 \text{ мм,}$$

Похибка приладу (21):

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_0}{100} D_{\text{вим}} \right) = \frac{1}{3} \left(\frac{2}{100} \cdot 140 \right) = 0,933 \text{ мм,}$$

де $\gamma_0 = 2$ – клас точності лінійки; $D_{\text{вим}} = 140$ мм – діапазон вимірювання висоти.

Похибка округлення (22):

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}} = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = 0,0029 \text{ мм.}$$

Значення дослідно-інструментальної помилки (26):

$$\sigma_{\text{дип}}(\delta) = \sqrt{\sigma_{\text{в}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} = \sqrt{0,0167^2 + 0,933^2 + 0,0029^2} = 0,933 \text{ мм}$$

Визначимо величину випадкової помилки середнього результату вимірювання висоти пляшки. Для визначення випадкової похибки виконуємо п'ять замірів висоти флакона, які занесено до табл. 2.

Таблиця 2 – Результати вимірювання висоти пляшки

№	Діаметр, мм	Висота, мм
1	77	140
2	77	138
3	77	141
4	77	140
5	77	139

Середнє арифметичне значення товщини стінки пляшки:

$$\bar{\delta} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i = \frac{1}{5} (140 + 138 + 141 + 140 + 139) = 139,6 \text{ мм.}$$

Випадкова помилка середнього результату:

$$\theta(\bar{\delta}) = \xi \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{\delta} - \delta_i)^2} = 1,04 \text{ мм}$$

де $\xi=1,2$ – значення коефіцієнта Стюдента для $P_d = 0,68$ і $n = 5$.

Повна похибка висоти пляшки (24):

$$\sigma(\bar{\delta}) = \sqrt{\sigma_{\text{дип}}^2(\bar{x}) + \theta^2(\bar{x})} = \sqrt{0,933^2 + 1,04^2} = 1,34 \text{ мм.}$$

Значення висоти пляшки (25):

$$\delta = \bar{\delta} \pm \sigma(\bar{\delta}) = \bar{\delta} \pm 1,34 \text{ мм.}$$

Відношення повної похибки висоти до діапазону вимірювання:

$$X2 = \frac{1,34}{140} \cdot 100\% = 0,96 \%$$

Середнє сумарне значення похибки товщини та висоти:

$$\sigma(\bar{\delta}) = \sqrt{\sigma(\bar{\delta})1^2 + \sigma(\bar{\delta})2^2} = \sqrt{0,012^2 + 1,34^2} = 1,34 \text{ мм}$$

Значення сумарної похибки у відсотках:

$$X(\text{сумарне}) = \sqrt{X1^2 + X2^2} = \sqrt{0,15^2 + 0,96^2} = 0,97\%$$

4.2 Числові експерименти

Проводиться моделювання процесу видувому для простої 2-D осесимметричної ПЕТ пляшки. Припустимо, що заготовка отримана і знаходиться всередині прес-форми. Внутрішній тиск діє, і заготовка розтягується, до контакту між полімером і прес-формою. Рис. 18 наведена схема процесу в початковій конфігурації, перед роздувом.

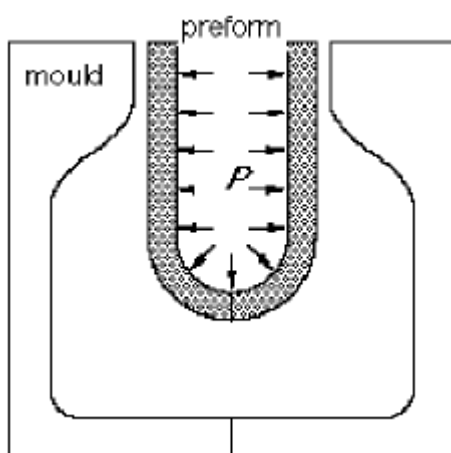


Рисунок – 18 Видувна прес-форма.

З геометричної точки зору, вихідна заготовка має вигляд циліндру з дном, висота якої 101см. Що стосується форми, то, висота пляшки 260 мм, без горлечка. Розрахунок виконуються по всій товщині, з цього слідує локальний зсув матеріалу і можливо нерівномірний розподіл температури, які необхідно прийняти до уваги.

Числові експерименти реалізовані в середовищі ANSYS POLYFLOW (рис. 19)

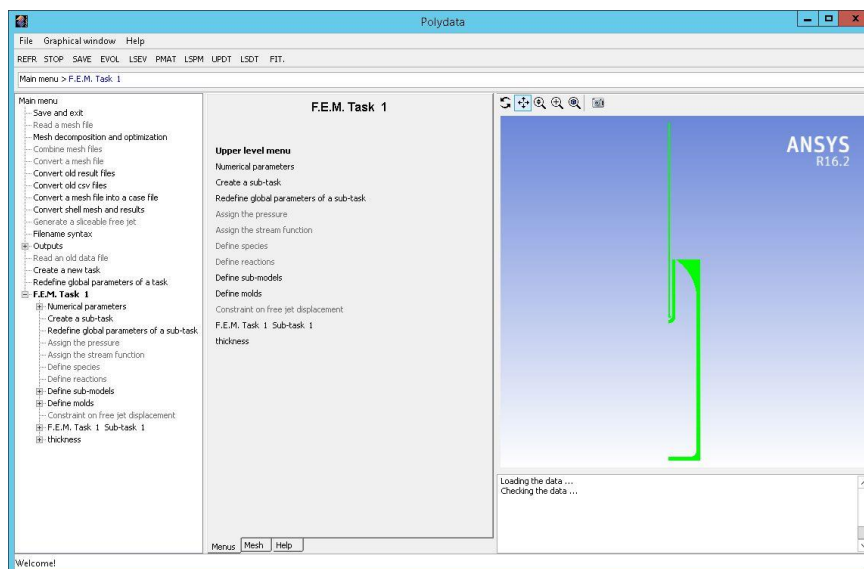
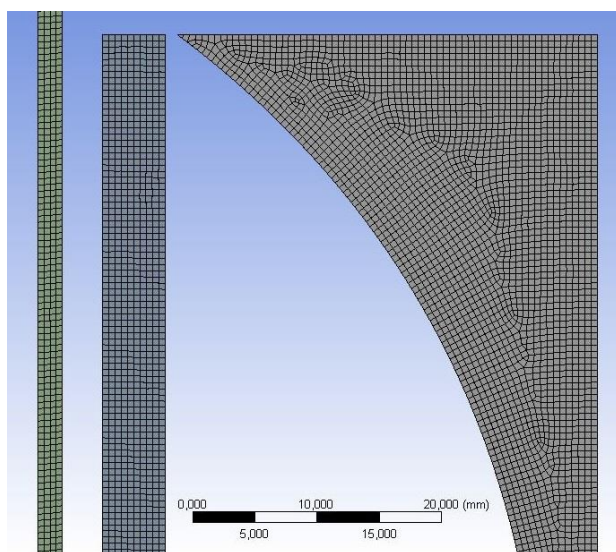


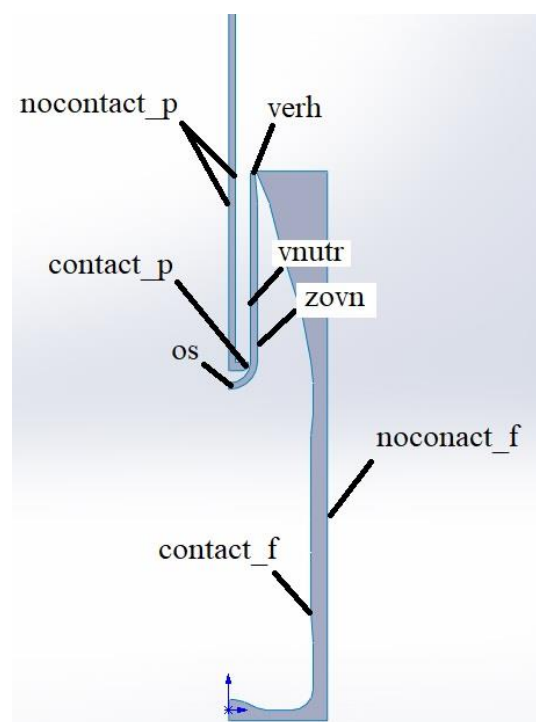
Рисунок 19 - Середовище ANSYS POLYFLOW

На рисунку 20 (а) наведена сітка кінцевих елементів та граничні умови. Кінцеві елементи визначені і для заготовки, і для прес-форми. Важлива частина це вірний опис внутрішньої поверхні прес-форми, яка сформує пляшку.

З рисунку 20 (б) бачимо, що сітка включає три піддомени та вісім граничних сторін. Внутрішня поверхня преформи (vnutr) задається як вільна поверхня з діючим а неї тиском. Зовнішня поверхня преформи (zovn) – як вільна поверхня до контакту з роздувною формою з певним проковзуванням.



а



б

Рисунок 20 - Метод кінцевих елементів сітки (а), суб-домени і назви граней (б).

В контексті видувного формування, контакт є важливим компонентом. У даному прикладі розглядається контакт між фіксованою прес-формою та рідиною, що встановлюється в рух за допомогою тиску нагнітання. Заготовка поступово вступає в контакт з формою, і в остаточному варіанті набуває свою форму.

У видувному моделюванні метою є збереження форми кінцевого елемента ближче до прямокутника.

Зважаючи на велику та складну деформацію розподіл товщини може виявитися неоднорідним. Тож можна застосувати деякі зміни у формі преформи. Та дуже важливо вірно обрати область для змін. Повне лагранжеве уявлення дозволяє це зробити.

Одна підзадача буде визначена для заготовки. Відповідна модель представляє узагальнений ньютонівський ізотермічний потік.

Умови для шару матеріалу:

- в'язкість відповідно до формули: $K=1,8 \cdot 10^5$, $\lambda=1,2$ с
- густина: $\rho=1000$ кг/м³
- інерційні терміни враховані
- сила тяжіння: $g_z=-9,81$ м/с² (вниз)

Хоча число Рейнольдса значно менше одиниці, це завжди гарна ідея, щоб прийняти умови інерційних до уваги в імпульсах рівнянь. Це, звичайно, повинно супроводжуватися введенням незнищеної щільності рідини. Дійсно, при настанні контакту, термін інерція виступає в якості демпфуючого фактора і допомагає стабілізувати числову систему.

Граничні умови:

- os збігається з лінією симетрії; обираються граничні умови.
- zovn - це поверхня прформи, яка буде контактувати з фіксованою формою.
- verh - верхня межа преформи, що не контактує з формою.
- vnutr - це внутрішня поверхня заготовки, де застосовується тиск нагнітання P ($P = 20-30$ бар).
- contact_f - гранична форма, за якою відбувається контакт.
- nocontact_f не використовується.

Робочий параметр це тиск нагнітання P . Його називають нормальною силою. У цьому моделюванні тиск не залежить від часу.

Даний випадок включає в себе рух пуансона. Тут накладається компонент Y -швидкості.

Число Рейнольдса, що характеризує поточний потік, може вказувати, що інерція відіграє неважливу роль, але потрібно враховувати умови інерції при моделюванні.

Як видно, zovn є вільною поверхнею та має контакт з формою. Визначення контакту є важливим частиною, так як це призведе до бажаної форми.

Числові параметри. Коефіцієнт корекції вказано до 10^9 , також для коефіцієнта, що вирівнюється вздовж дотичного напрямку (без стікання). Допуск на проникнення дорівнює **0,01**, тоді як розширення елемента дорівнює **0,001**.

Для застосування 2-D видувного формування в інтерфейсі користувача доступні кілька способів повторного виклику. Ці кілька методів були реалізовані для задоволення різних геометричних характеристик обчислювальної області. В даний час ми стикаємося з тонким рідким об'єктом, і найдоцільніший метод полягає у використанні представлення Лагранжа вздовж основної лінії: цей метод називається "Thin Shell Method + Lagrangian master" в Polydata. Основною лінією повинна бути обрана поверхня, яка піддається найбільшому впливові. В даний час *zovp* обрано як основна поверхня.

Необхідно підкреслити, що ця методика може бути застосована, якщо виконується декілька умов "Thin Shell Method + Lagrangian master". Обчислювальна область рідини повинна бути оточена чотирма граничними сторонами. З точки зору топології сітка кінцевих елементів повинна бути шаховою, як показано на рисунку 1; іншими словами, одна і та ж кількість елементів повинна існувати вздовж двох протилежних меж. З точки зору граничних умов, дві вільні поверхні повинні бути визначені вздовж двох протилежних сторін.

Для 2D-осесиметричного моделювання видуву можемо обчислити товщину стінок заготовки. Прформа має дві поверхні, у кожній точці області POLYFLOW обчислює відстань між точкою та внутрішньою поверхнею, також між точкою і зовнішньою поверхнею.

Числові параметри

Виключаємо розрахунок даних у полі швидкості.

Використовуємо $\Delta t_{ini} = 0,001$, $\Delta t_{max} = 0,002$, $\Delta t_{min} = 10^{-7}$ і $t_{max} = 0,1$.

Величина допуску = **0,01**.

Величина = **500** кроків часу.

- Створення нового завдання: 2-D осесиметричне завдання, залежить від часу.

- Визначення форми:

Створення нової форми (Форма 1)

Адіабатична форма

Область форми: між **contact_f** та **nocontact_f**

Контактна гранична умова: **contact_f**: контакт; **nocontact_f**: немає контакту.

- Створення підзадачі: проблема узагальненого Ньютонівського ізотермічного потоку

Область: S1

Матеріальні дані:

В'язкість: **fac = 105**

Густина = **1**

Інерційні умови враховані

Гравітація: **gx = 0, gy = -981**

Граничні умови потоку

os: вісь симетрії

zovn: вільна поверхня

контакт (виливка)

створення нового контакту

Контактна стінка: Форма 1: **contact_f**

корекційний коефіцієнт: **109**

Допуск (точність) на проникнення: **0,05**

розширення елемента: **0,01**

коефіцієнт ковзання: **109**

verh: (**Vn, Fs**) = (**0, 0**)

vnutr: вільна поверхня

Сила, застосована по нормалі: **-2*10^6**.

Глобальне застосування сітки

1-й етап Remeshing

Метод: Thin Shell Method + Lagrangian master

Основна лінія: **zovn**

- Створення підзавдання: Postprocessor (кінцева обробка)

Відстеження матеріальних точок на площі між **os**, **zovn**, **verh** та **vnutr**

- Створення підзавдання: Postprocessor

Назва: товщина заготовки

Постпроцесор: товщина заготовки

Заготовка № 01

Область: між **os**, **zovn**, **verh** та **vnutr**

Граничні умови товщини:

Уздовж **zovn**: початок поверхні (контактуюча - cont)

Уздовж **vnutr**: кінець поверхні (не контактуюча – no-cont)

- Числові параметри

Налаштування тимчасових ітераційних (повторюваних) параметрів

початковий час: **0**

граничний час: **0.1**

початкове значення часу на 1 крок: **0.001**

мін значення часу на 1 крок: **10⁻⁷**

максимальне значення часового кроку: **0.002**

максимальна кількість успішних кроків: **100**

без розрахунку поля швидкості

допуск: **0,01**

5 ЧИСЛОВЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВИДУВУ ПЕТ ПЛЯШКИ З ПРЕФОРМИ

5.1 Опис процесу числового моделювання

Креслення преформи та форми для видувного формування ПЕТ-тари представлені на рис. 21 та рис. 22.

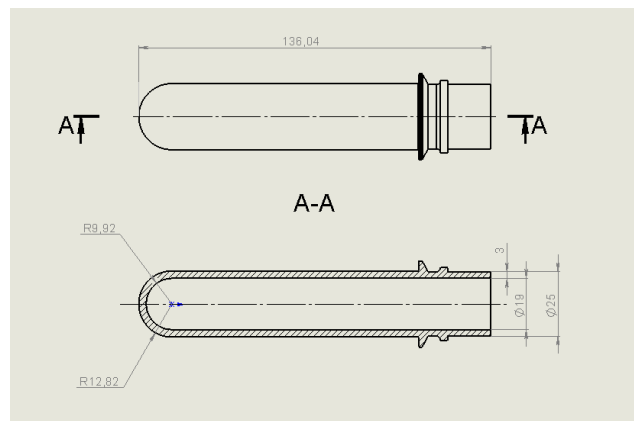


Рисунок 21 – ПЕТ преформа

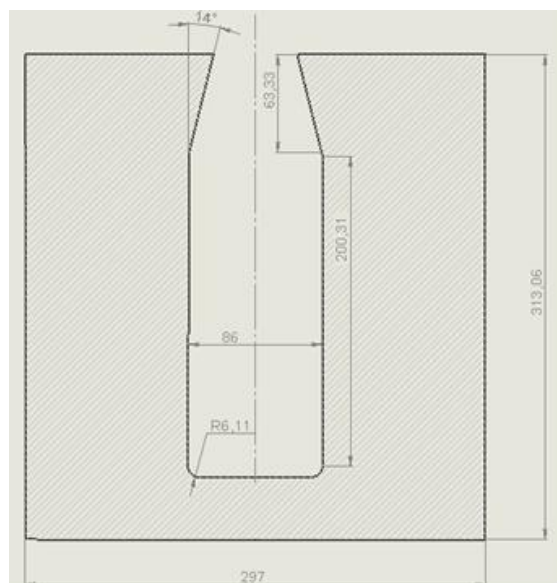
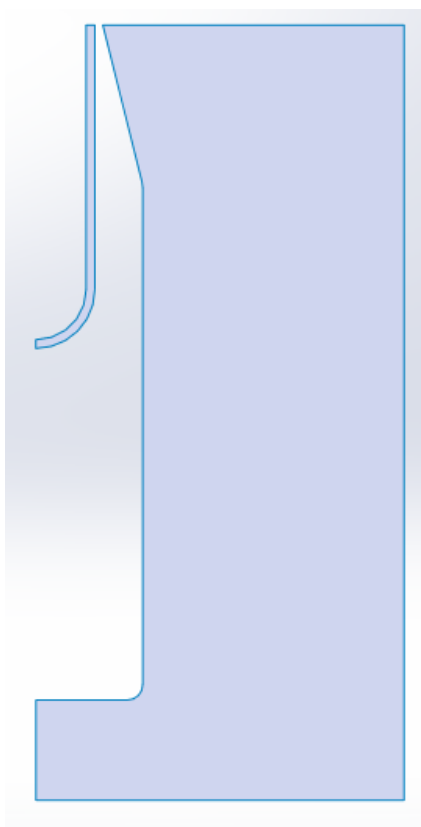
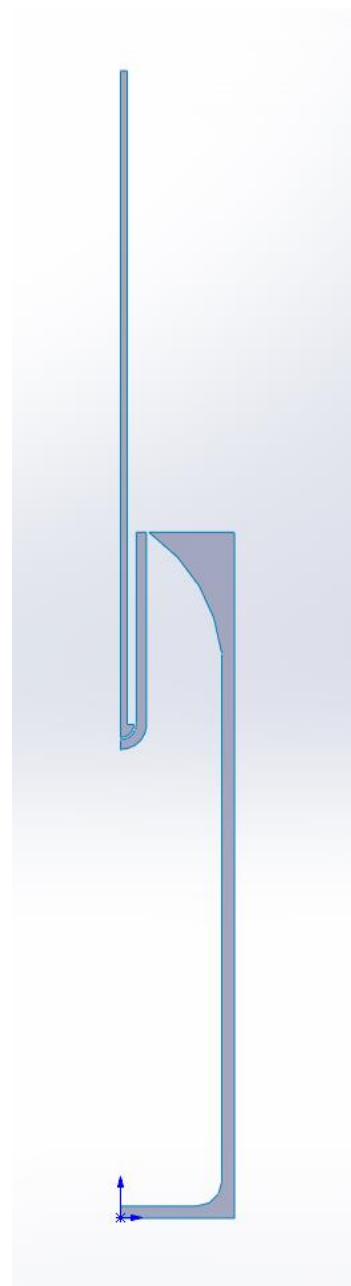


Рисунок 22 – Форма для видувного формування

Задача розглядається як осьосиметрична. Для моделювання процесу видуву в системі ANSYS було взято два варіанти геометрії: без штоку (рис. 23) та зі штоком (рис. 24).



Риснок 23 – Геометрія без
штоку



Риснок 24 – Геометрія зі што-
ком

Внутрішня поверхня преформи задається як вільна поверхня з діючим а неї тиском. Зовнішня поверхня преформи – як вільна поверхня до контакту з роздувною формою з певним проковзуванням. З обох боків преформи повітря.

Задача розраховує визначення розташування заготовки на протязі часу видуву за умови збереження її об'єму. Матеріал преформи розглядається як степенева рідина

Форма для видуву вважається не деформованою.

У результаті моделювання видуву без штоку було виявлено, що пляшка розривається, коли товщина стінки досягає критичного значення (рис. 25).

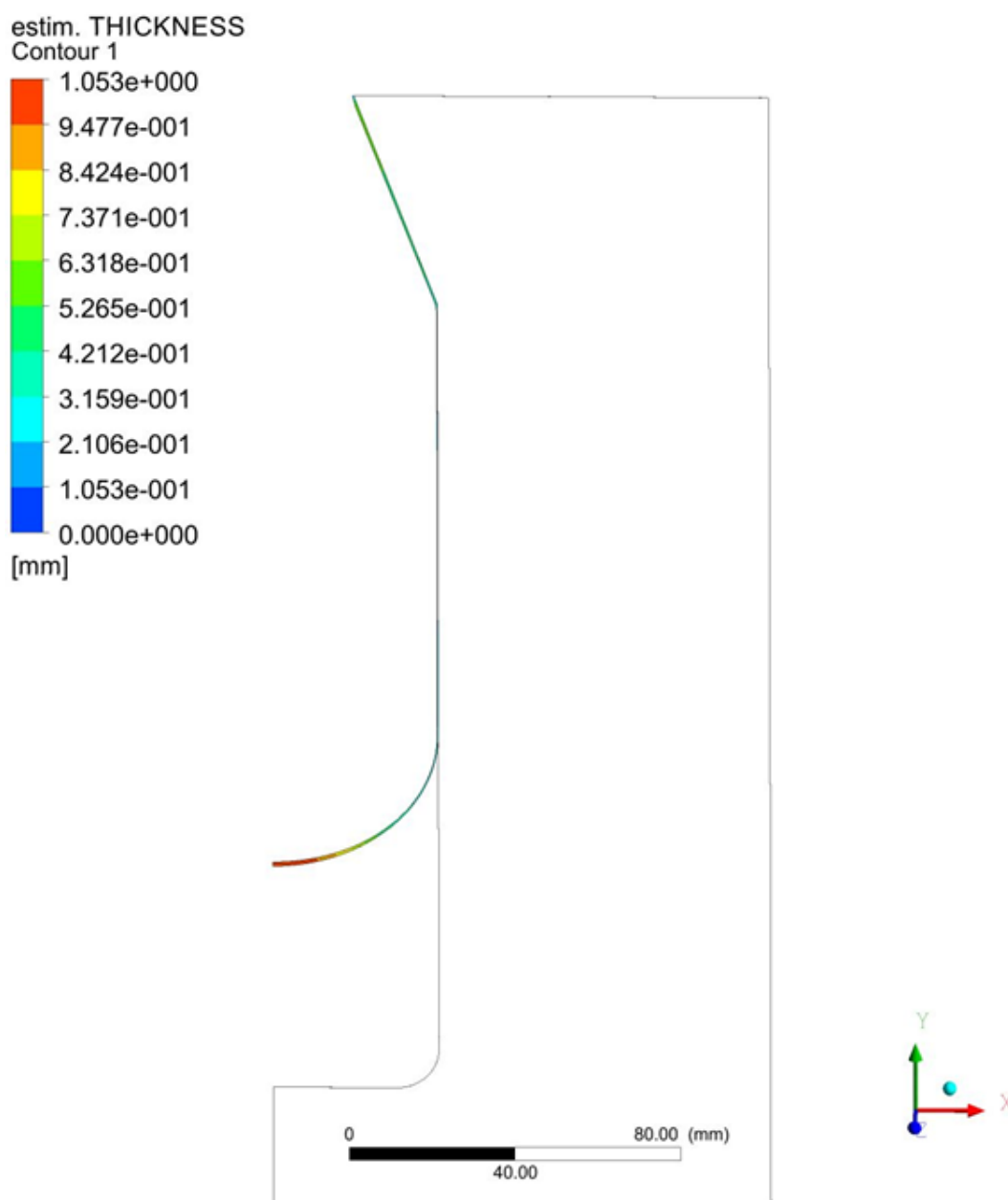


Рисунок 25 – Процес видувного формування ПЕТ-тари з преформи без штоку

При моделювання видуву зі штоком пляшка видувається повністю. Моделювання видуву зі штоком було проведене за ізотермічних (рис. 26) та неізотермічних (рис. 27) умов, коли температура збільшується лінійно від низу (100 °C) до горлечка (120 °C), а температурна залежність в'язкості ПЕТ підпорядковується закону Арреніуса. В результаті моделювання пляшка видувається повністю, проте за неізотермічних умов товщина стінки рівномірніша.

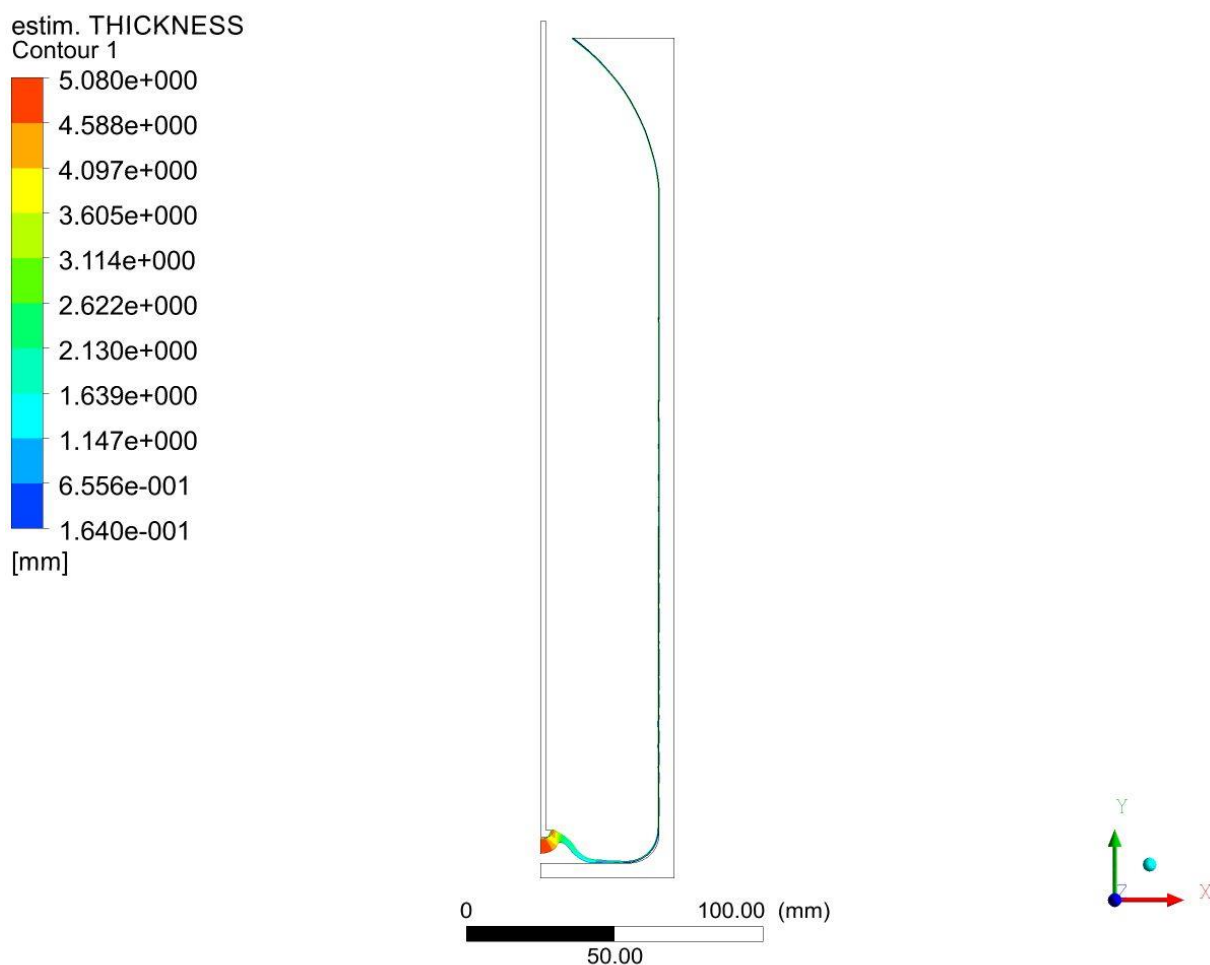


Рисунок 26 – Процес видувного формування ПЕТ-тари з преформи зі штоком за ізотермічних умов

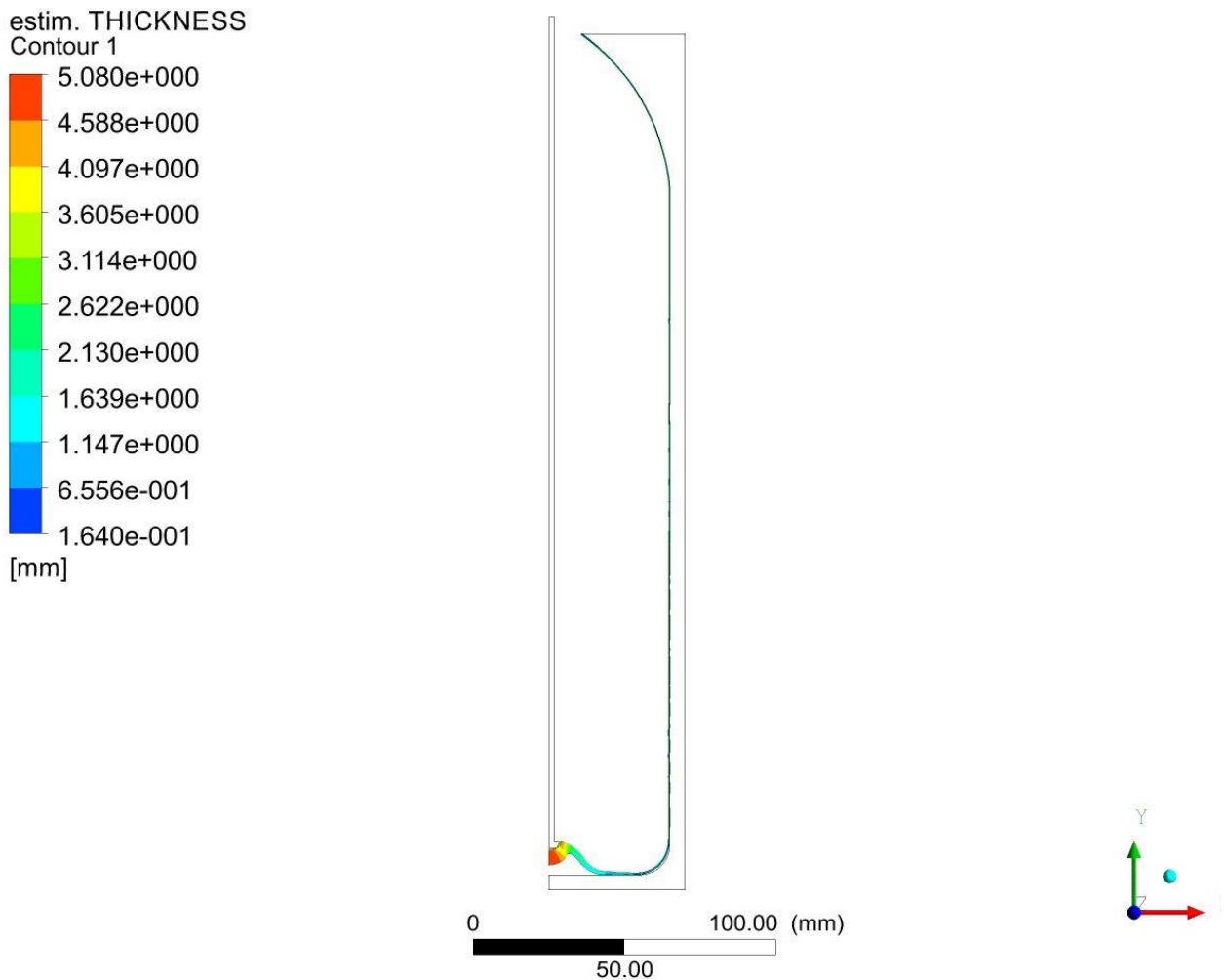


Рисунок 27 – Процес видувного формування ПЕТ-тари з преформи зі штоком та неізотермічних умов

Розрахунки проведені за таких умов:

- 1 - Швидкість пуансона - 0,6 м/с, час роздуву - 0,38 с, тиск - 1,5 МПа
- 2 - Швидкість пуансона - 0,8 м/с, час роздуву - 0,31 с, тиск - 1,9 Мпа
- 3 - Швидкість пуансона - 0,4 м/с, час роздуву - 0,48 с, тиск - 0,8 МПа
- 4 - Швидкість пуансона - 0,8 м/с, час роздуву - 0,31 с, тиск - 1,9 Мпа, температура збільшується від низу де горлечка

Даний випадок включає в себе рух пуансона. Тут накладається компонент Y -швидкості: $v_x = 0,4-0,8$ см / с. Це залежить від часу t за допомогою

функції $f(t)$, з $(a, b) = (0,226; 1)$ і $(c, d) = (0,243; 0)$. На рис.28 представлені параметри a, b, c, d руху пуансона. Для зупинки руху пуансона вибраний короткий інтервал. Ця функція $f(t)$ була обрана таким чином, що пуансон зупинить свій рух у площині симетрії, що розрізає заготовку. Варто відзначити, що зміщення пуансона виходять як інтеграл від швидкості, і може залежати від помилок часу дискретизації.

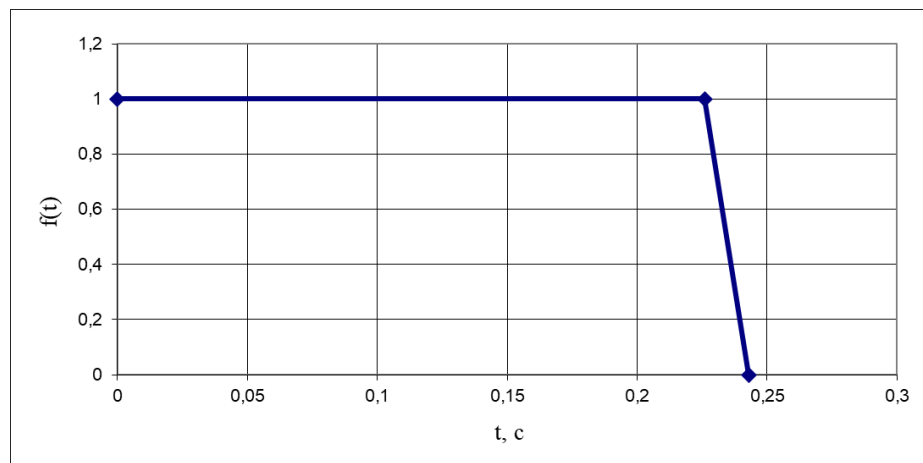


Рисунок 28 - Рух пуансона

Результат представлений на рисунку 29.

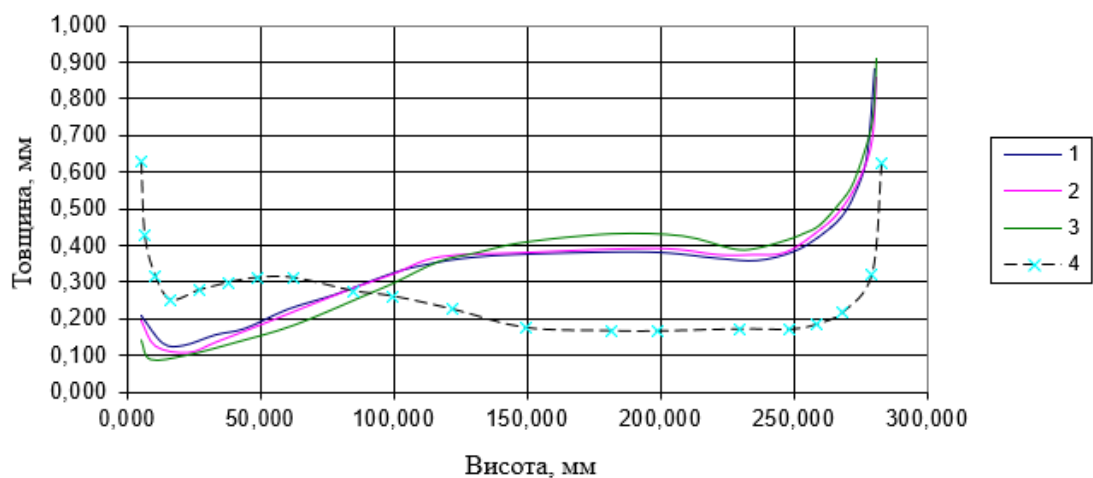


Рисунок 29 – Розподіл товщини стінки по висоті пляшки за ізотермічних умов (1-3) та неізотермічних (4)

Далі був проведений температурний розрахунок з якого отримано нові значення нової початкової температури.

Припускаємо, що початкова преформа є рівною, тоді можемо вказати будь-яку початкову температуру цієї преформи через файл CSV. У пост-процесорі необхідно визначити кінцевий розподіл потрібної товщини стінки. Особлива увага повинна бути приділена при визначенні такого розподілу: він повинен бути сумісний з початковим розподілом товщини. Якщо ні, то нове початкове розподіл температур може стати нереальним. Ось чому вказані мінімальні та асиметричні початкові температури: тоді принаймні один вузол буде мати мінімальну температуру, і ця температура буде завжди нижче максимального.

Для кожного вузла преформи, її нова початкова температура отримується у такий спосіб:

$$T_i = T_{i-1} + a(T^* - T_i) \quad (28)$$

де a - коефіцієнт нижньої релаксації, а T^* - температурний розв'язок наступного рівняння:

$$T^* = T_i \frac{hf}{hd} \quad (29)$$

де hf - товщина поточного вузла в кінці моделювання, hd - потрібна товщина, а T – температура, °C.

Преформа складається тільки з одного шару полімеру, температурна залежність в'язкості ПЕТ підпорядковується закону Арреніуса.

Щоб уникнути коливань, ми повинні обмежувати варіацію початкової температури від одного етапу оптимізації до наступного. За замовчуванням

коефіцієнт при релаксації встановлюється на 0,9. Цей коефіцієнт релаксації слід зменшити, якщо спостерігаються коливання між послідовними початковими розподілами температури. В ході проведених досліджень встановлено, що коефіцієнт релаксації слід обирати не більшим за 0,2.

Потім перед збереженням нового початкового розподілу температури потрібні певні корективи: перш за все, весь розподіл зміщується, щоб отримати принаймні один вузол за заданою мінімальною температурою. Далі всі вузли з температурою, що перевищує максимум, встановлюються на максимум. Врешті-решт, може бути здійснено деяке усереднення.

Оскільки не варто оцінювати новий початковий розподіл температури після кожного етапу, але лише наприкінці моделювання, ми визначаємо час активації: це відповідає першому часу, коли буде розрахований цей новий розподіл. Оскільки цей час активації не є останнім часом моделювання, ви отримаєте набір оцінок; лише остання буде фактично використана як початкова умова для наступного кроку оптимізації.

З розрахунку отримали нові значення початкової температури (рис. 30). Провівши новий розрахунок в системі ANSYS отримали такий розподіл товщин стінки по висоті пляшки (рис. 31).

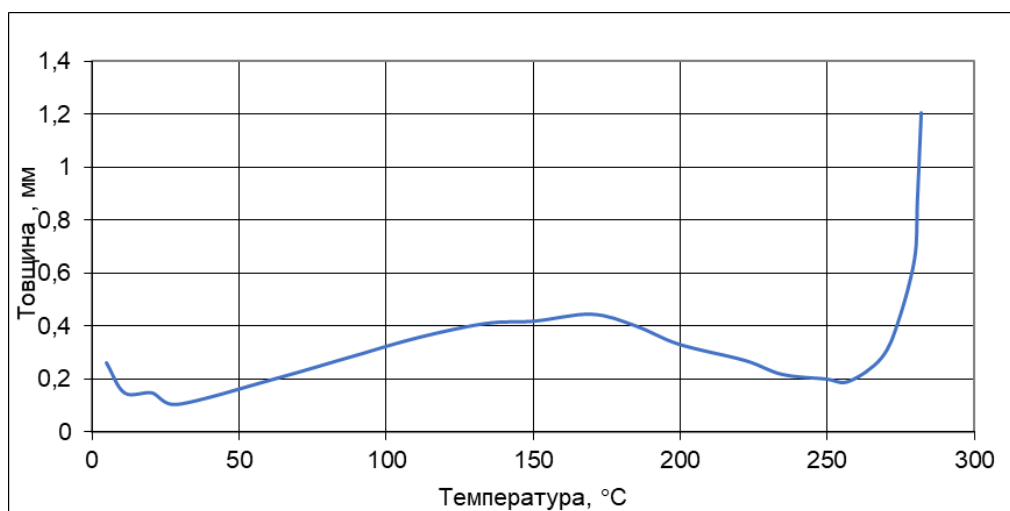


Рисунок 30 – Розподіл температур після першої ітерації

В результаті проведених розрахунків за неізотермічних умов з врахуванням нового розподілу температур (рис. 31, 32) отримано розподіл товщини стінки по висоті пляшки (рис. 33). За значних відхилень товщини пляшки від заданих розрахунків повторюється за вказаною методикою до досягнення збіжності.

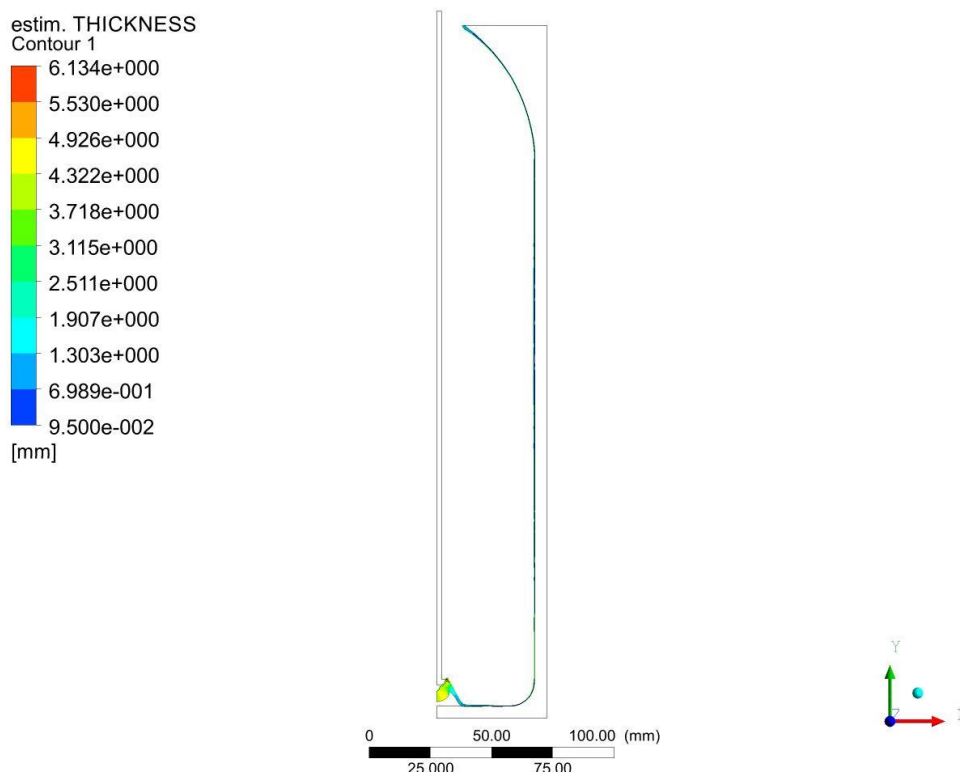


Рисунок 31 – Розподілення товщин стінок по висоті пляшки

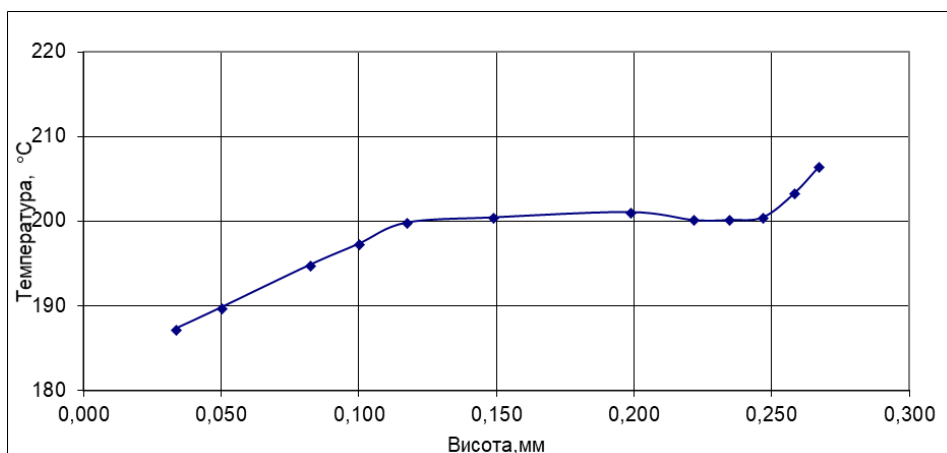
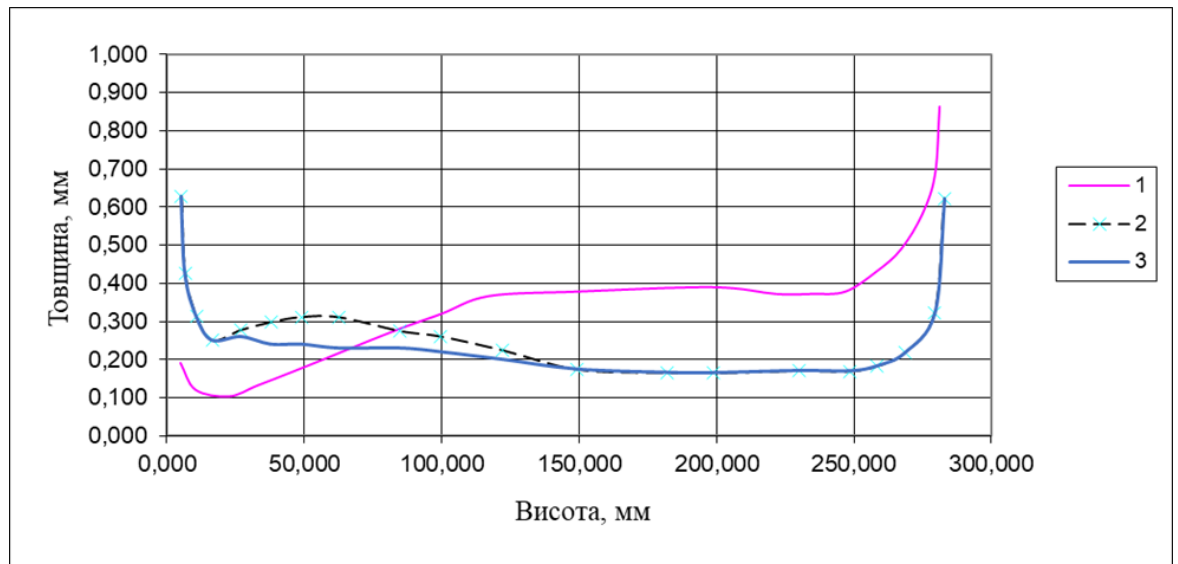


Рисунок 32 – Розподілення температур по висоті пляшки



1 – Розподіл товщин за ізотермічних умов, 2- розподіл товщин за умови лінійного розподілу температур, 3 – розподіл товщин, отриманий в результаті третьої ітерації розрахункового розподілу температур

Рисунок 33 – Розподіл товщин стінок по висоті пляшки

5.2 Висновки до розділу 5

1. Дослідження показали що заготовку потрібно розігрівати не рівномірно, а з урахуванням ступеню розтягування в кожній ділянці.
2. Запропоновано залежності товщини стінки ПЕТ тари від температури розігріву преформи по зонах.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ Й НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1 Загальні положення

Відповідно до [40].

1. Ці Правила встановлюють вимоги щодо охорони праці і поширюються на суб'єктів господарювання незалежно від форм власності й організаційно-правової форми, діяльність яких пов'язана з переробкою пластичних мас.

2. У цих Правилах термін вживається в такому значенні:
об'єкт з переробки пластичних мас - це підприємство або організація, яке здійснює використання, перероблення, зберігання та транспортування пластичних мас за допомогою спеціальних виробничих процесів на спеціальному обладнанні.

Інші терміни, які використовуються в цих Правилах, вживаються у значеннях, наведених у Законі України «Про охорону праці», ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять», затвердженому наказом Держстандарту України від 26 березня 1999 року № 164, ДСТУ 2272:2006 «Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять», затвердженому наказом Держспоживстандарту України від 9 червня 2006 року № 162, ГОСТ 12.3.030-83 «ССБТ. Переработка пластических масс. Требования безопасности», затвердженому постановою Державного комітету СРСР по стандартах від 7 липня 1983 року № 2987, ГОСТ 24888-81 «Пластмассы, полимеры и синтетические смолы. Химические наименования, термины и определения», затвердженому постановою Державного комітету СРСР по стандартах від 22 липня 1981 року № 3483, ГОСТ 18322-78 «Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения», затвердженому постановою Державного комітету СРСР по стандартах від 15 листопада 1978 року № 2986, ДСТУ 3042-95 «Устаткування технологічне для переробки

полімерних матеріалів. Терміни та визначення», затвердженому наказом Держстандарту України від 28 березня 1995 року № 91, ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны», затвердженому постановою Державного комітету СРСР по стандартах від 29 вересня 1988 року № 3388, ГОСТ 12.1.007-76 «ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности», затвердженому постановою Державного комітету стандартів Ради Міністрів СРСР від 10 березня 1976 року № 579.

6.2. Вимоги безпеки до виробничих приміщень

1. Об'єкти з переробки пластичних мас необхідно оснащувати системами протипожежного захисту відповідно до вимог ДБН В.2.5-56:2010 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Системи протипожежного захисту», затверджених наказом Мінрегіонбуду України від 22 грудня 2010 року № 537.

2. Дотримання протипожежного режиму та оснащення виробничих приміщень первинними засобами пожежогасіння здійснюється відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2004 та Типових норм належності вогнегасників, затверджених наказом Міністерства України з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи від 2 квітня 2004 року № 151, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 29 квітня 2004 року за № 554/9153 (далі - НАПБ Б.03.001-2004). Для локалізації та ліквідації пожеж у їх початковій стадії розвитку необхідно використовувати водяні, водопінні, порошкові або газові вогнегасники відповідно до вимог ДСТУ 3675-98 «Пожежна техніка. Вогнегасники переносні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань», затвердженого наказом Держстандарту України від 30 січня 1998 року № 59, і ДСТУ 3734-98 (ГОСТ 30612-99) «Пожежна техніка. Вогнегасники пересувні. Загальні технічні вимоги», затвердженого наказом Держстандарту України від 29 травня 1998 року № 360, а також покривала з

негорючого теплоізоляційного матеріалу, пісок та інші первинні засоби пожежогашіння.

3. У виробництвах з переробки пластмас повинні передбачатися окремі виробничі приміщення (або ділянки) для:

- зберігання вихідних матеріалів і готової продукції;
- підготовки матеріалів;
- переробки пластичних мас;
- механічної обробки;
- складування прес-форм і їх ремонту;
- подрібнення і переробки відходів.

4. Виробничі приміщення за своїми габаритами та конфігурацією повинні забезпечувати:

- поточність технологічних операцій;
- оптимальне розташування устаткування, комунікацій, апаратів і приладів, які відповідають призначенню виробництва;
- дотримання вимог стандартів «людина-машина»;
- завантаження (вивантаження) великогабаритного обладнання;
- мінімальну довжину шляху переміщення сировини, відходів і готової продукції.

5. Склади сировини та готової продукції, відділення зберігання форм і оснащення мають бути забезпечені необхідними механізмами для вантажно-розвантажувальних робіт.

У кожному складському приміщенні повинна бути схема розміщення дозволених до зберігання речовин і матеріалів з коротким зазначенням їх небезпеки, місця і способу укладання. Схема повинна бути узгоджена з технічним відділом, службою охорони праці і затверджена керівником об'єкта.

6. Для тимчасового зберігання матеріалів, готової продукції у виробничому приміщенні повинні бути відведені спеціальні місця.

7. Рівень виробничого шуму не повинен перевищувати норм, встановлених Державними санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та

інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, затвердженими постановою Головного державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 року № 37, та вимогами ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Общие требования безопасности», затвердженого постановою Державного комітету СРСР по стандартах від 6 червня 1983 року № 2473.

8. Рівень вібрації у виробничих приміщеннях не повинен перевищувати норм, встановлених Державними санітарними нормами виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99, затвердженими постановою Головного державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 року № 39, та ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008.

9. Засоби захисту від статичної електрики у пожежонебезпечних зонах будь-якого класу з метою захисту від іскроутворення повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.21-98, ГОСТ 12.1.018-93 «ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования», прийнятих Міждержавною Радою зі стандартизації, метрології та сертифікації 21 жовтня 1993 року, та ГОСТ 12.4.124-83 «ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования», затвердженого постановою Державного комітету СРСР по стандартах від 27 січня 1983 року № 428.

Металеві та неметалеві електропровідні конструкції, комунікації та виробниче обладнання повинні бути електростатично заземленими.

10. Стіни виробничих та складських приміщень повинні виключати можливість накопичення пилу і сорбцію парів шкідливих речовин і бути придатними для систематичного прибирання поверхонь вологим способом.

11. Підлога виробничих приміщень повинна мати рівну, неслизьку, зручну для очищення поверхню, мати схил до каналізаційних трапів, передбачати стік у каналізацію, бути стійкою до дії механічних навантажень, вологи і агресивних середовищ.

12. Усі виробничі, складські та допоміжні приміщення повинні бути обладнані системами вентиляції (природною, механічною або змішаною), які забезпечують рівномірну температуру та стан повітряного середовища.

Влаштування, експлуатація, обслуговування, ремонт, налагодження та проведення інструментальної перевірки ефективності роботи систем вентиляції повинні відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.27-09.

Місця можливого виділення шкідливих речовин необхідно обладнувати відсмоктувачами місцевої витяжної вентиляції.

Не допускається об'єднувати місцеві відсмоктувачі від різного устаткування в одну систему, де при з'єднанні пари різних речовин можуть утворюватись небезпечні суміші.

Для очищення вибухонебезпечної пилоповітряної суміші необхідно використовувати пилоуловлювачі або фільтри.

13. У всіх виробничих, складських та допоміжних приміщеннях необхідно передбачати сигналізацію щодо справної роботи вентиляційних систем.

14. Показники мікроклімату в межах робочої зони виробничих приміщень об'єктів з переробки пластичних мас мають відповідати вимогам Санітарних норм мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 року № 42.

15. У робочій зоні виробничих приміщень вміст шкідливих речовин не повинен перевищувати граничнодопустимі концентрації (ГДК), встановлені ГОСТ 12.1.005-88.

Періодично необхідно проводити аналіз повітря робочої зони виробничих приміщень на вміст шкідливих речовин відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005-88.

16. Усі виробничі, складські та допоміжні приміщення повинні бути забезпечені природним, штучним та сумісним освітленням залежно від характеристики зорової роботи відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення», затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від 15 травня 2006 року № 168.

Працівники повинні здійснювати експлуатацію пристроїв для освітлення відповідно до вимог ГОСТ 12.2.007.0-75 «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности», затвердженого постановою Державного комітету стандартів Ради Міністрів СРСР від 10 вересня 1975 року № 2368.

17. Електропроводка і арматура силової та освітлювальної мереж у виробничих приміщеннях мають бути надійно ізольовані і захищені від впливу високої температури, хімічних середовищ та механічних пошкоджень.

У пожежонебезпечних зонах будь-якого класу треба застосовувати кабелі та проводи, які не поширюють горіння.

18. Усі виробничі, складські та допоміжні приміщення повинні своєчасно прибиратися і постійно утримуватися в чистоті протягом усього робочого часу.

Прибирання виробничих приміщень слід проводити за потреби, але не менше одного разу на зміну, без підняття пилу. Не дозволяється застосовувати легкозаймисті та шкідливі розчинники для миття підлоги та обтирання обладнання.

Сміття та відходи виробництва, які не підлягають повторному переробленню, необхідно збирати в спеціальні контейнери, розміщені у відведених місцях, а в кінці зміни виносити з приміщень в контейнери для утилізації.

19. Для надання першої медичної допомоги у кожному виробничому приміщенні підприємства на видному та легкодоступному місці повинна знаходитися аптечка.

20. На об'єктах з переробки пластичних мас повинні бути передбачені санітарно-побутові приміщення. Під час улаштування санітарно-побутових приміщень потрібно враховувати чисельність працівників, режим праці, щільність розміщення робочих місць на об'єкті, санітарні особливості виробничих процесів.

21. Палити в приміщеннях дозволяється тільки у спеціально відведених місцях, забезпечених засобами пожежогасіння та урнами.

6.3. Вимоги до безпеки виробничого обладнання та організації робочих місць

1. Розміщення технологічного обладнання та засобів вибухо- і пожежозахисту у виробничих приміщеннях та на відкритих майданчиках має забезпечувати зручну і безпечну їх експлуатацію, можливість проведення ремонтних робіт та організації оперативних заходів щодо запобігання аварійним ситуаціям або локалізації аварій.

2. На кожному об'єкті, у приміщеннях (на ділянках) з переробки пластмас має бути схема розташування та взаємозв'язку технологічного обладнання і трубопроводів, виконана в умовних кольорах, із зазначенням запірної та регулювальної арматури, контрольно-вимірювальних приладів і автоматики (КВПіА).

3. Основні проходи по загальному фронту обслуговування виробничого обладнання повинні бути не менше 1,5 м.

Відстань між суміжними машинами з обладнанням для них повинна бути не менше 1,2 м.

Робочі проходи між основними машинами, а також між машинами і стінками виробничого приміщення при необхідності кругового обслуговування повинні бути не менше 0,8 м.

4. Шлях руху технологічного транспорту необхідно позначити обмежувальними лініями шириною не менше 50 мм, швидкість руху транспорту не повинна перевищувати 5 км/год.

Ширина проїзду для технологічного транспорту повинна становити ширину транспортного засобу плюс 1,6 м (по 0,8 м з кожного боку) до найближчого обладнання.

5. Транспортування вантажів необхідно проводити транспортними засобами (електрокари, автокари тощо), які відповідають вимогам ГОСТ 12.2.003-91.

Експлуатувати транспортні засоби в несправному стані не допускається.

Перевозити працівників автокарами, автотранспортом та електротранспортом не допускається.

6. Крани усіх типів, ручні та електричні талі, лебідки для підймання вантажу, підймальні вантажозахватні механізми та пристрої необхідно установлювати та експлуатувати відповідно до вимог Правил будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів, затверджених наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду від 18 червня 2007 року № 132, зареєстрованих у Міністерстві юстиції України 9 липня 2007 року за № 784/14051 (далі - НПАОП 0.00-1.01-07).

Забороняється стояти, проходити і працювати під підвішеним вантажем.

7. Виробниче устаткування і оснащення об'єктів з переробки пластичних мас повинно відповідати вимогам ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.3.002-75*, ДСТУ 7234:2011 «Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки», затвердженого наказом Держспоживстандарту України від 2 лютого 2011 року № 37, ДСТУ ГОСТ 12.2.061-2009 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам», затвердженого наказом Держспоживстандарту України від 22 грудня 2008 року № 495, ГОСТ 12.2.064-81 «ССБТ. Органы управления производственным оборудованием. Общие требования безопасности», затвердженого постановою Державного комітету СРСР по стандартах від 11 листопада 1981 року № 4884, ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.010-76 «ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования», затвердженого постановою Державного комітету стандартів Ради Міністрів СРСР від 28 червня 1976 року № 1581, та цих Правил.

8. Пускові пристрої основних машин, механізмів і апаратів мають бути заблоковані із запобіжними огорожувальними конструкціями таким чином, щоб було унеможливлено запускання їх у роботу зі знятими запобіжними огорожувальними конструкціями.

9. Пуансони і матриці пресів, нагрівальні пояси роторних ліній, матеріальні циліндри термопластавтоматів, головки екструдерів тощо повинні мати

надійну теплоізоляцію зовнішніх поверхонь, щоб температура їх поверхонь не перевищувала 45 °С, або запобіжні пристосування для уникнення прямого контакту людини з гарячими поверхнями, якщо обладнання не дозволяє використовувати теплоізоляцію.

10. При звільненні обладнання (термопластавтоматів, екструдерів або іншого) від гарячих полімерних матеріалів (під час аварії, виходу браку, зупинці машин тощо) скидання матеріалу повинно здійснюватися в спеціально призначені для цього пересувні ємності з кришками і вивозитися з цеху в спеціально встановлене місце.

11. Запобіжні клапани, які встановлено на апарати, що працюють під тиском, мають відповідати вимогам ДСТУ ГОСТ 12.2.085:2007 «Посудини, що працюють під тиском. Клапани запобіжні. Вимоги щодо безпеки», затвердженого наказом Держспоживстандарту України від 17 жовтня 2007 року № 267.

12. Система очищення прес-форм після знімання готових виробів на всіх видах обладнання, що використовується, повинна виключати потрапляння газоподібних продуктів і пилу в робоче приміщення.

13. Електричні установки та електричні мережі необхідно улаштовувати, утримувати, експлуатувати і обслуговувати відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП 40.1-1.21-98, Державних санітарних норм і правил при роботі з джерелами електромагнітних полів, затверджених Міністерством охорони здоров'я України від 18 грудня 2002 року № 476, зареєстрованих в Міністерстві юстиції України 13 березня 2003 року за № 203/7524 (далі - ДСанПіН 3.3.6.096-2002).

14. Перелік засобів електрозахисту, вимоги до них, обсяги і норми випробувань, порядок застосування, зберігання їх, а також норми комплектування повинні відповідати Правилам експлуатації електрозахисних засобів, затвердженим наказом Мінпраці України від 5 червня 2001 року № 253.

15. Усе електрообладнання (корпуси електричних машин, апаратів, світильників, розподільних пристроїв, металеві корпуси пересувних та переносних електроприймачів) повинно мати надійне захисне заземлення або/та

занулення відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.01-97, НПАОП 40.1-1.21-98 та ГОСТ 12.1.030-81 «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», затверджених постановою Державного комітету СРСР по стандартах від 15 травня 1981 року № 2404.

16. Виробниче обладнання з електричним приводом повинно мати засоби (пристрої) захисту від ураження електричним струмом (зокрема у випадках помилкової дії працівників, які обслуговують обладнання) згідно з вимогами ДСТУ 7237:2011 «Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту», затвердженого наказом Держспоживстандарту України від 2 лютого 2011 року № 37.

17. На приводах комунікаційних апаратів мають бути чітко зазначені положення «Включено» та «Відключено» відповідно до технологічної схеми розташування та взаємозв'язку технологічного обладнання і трубопроводів.

18. Робоче місце не повинно бути захаращене сторонніми предметами, готовою продукцією та відходами виробництва.

7 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Наукові дослідження покладені в ідею стартап-проекту захищені патентом на корисну модель відповідно до захисту прав інтелектуальної власності [38].

7.1 Опис ідеї стартап-проекту

Аналіз стартап-проекту (табл. 3.).

Таблиця 3 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Застосуванні проміжної еластичної діафрагми в процесі видувного формування ПЕТ-тари.	Підприємства, що виготовляють ПЕТ-тару	Підвищення якості товару.

Запропонована ідея відрізняється від існуючих аналогів, тим що даний спосіб забезпечує кращу якість виробу (передусім високу якість горловини виробу), проте він не забезпечує можливості регулювання товщини стінок одержуваного виробу по їх висоті (у тому числі рівнотовщинності).

Сильні та слабкі характеристики ідеї проекту наведені у таблиці 4.

Таблиця 4 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2			
1.	Регульованість товщини стінки	+					

Наведений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

7.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару) наведено в табл. 5.

Таблиця 5 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Застосування проміжної еластичної діафрагми в процесі видувного формування ПЕТ-	Виготовлення ПЕТ-тари, за якого здійснюють механічне деформування розігрітої преформи в осьовому напрямку з	Схожих технологій існують, але потребують внесення певних змін для	Доступні.

Продовження табл. 5

	тари.	наступним її роздуванням стисненим повітрям в радіальному напрямку.	адаптування їх до даної ідеї.	
--	-------	---	-------------------------------	--

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що технологічна реалізація проекту можлива.

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей [41], які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 6).

Таблиця 6 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Вимоги споживачів до товару
1	Підвищення якості ПЕТ-тари	Пакувальна індустрія; підприємства, що виробляють ПЕТ-тару.	Висока якість готового товару.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища. Таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 7 – табл. 8).

Таблиця 7 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Спад виробництва	Нема потреби у продукті.	Припинення виробництва; пошук нових ринків збуту.
2	Зростання інфляції	Зменшення платоспроможності.	Підлаштування ціни на товар.

Таблиця 8 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Політика протекціонізму	Захист вітчизняного виробника внаслідок чого буде розвиватися галузь споживач стартапу.	Залучення у коло споживачів споріднених галузей.
2	Стимулювання розвитку	Зниження податкового тиску на стартапи.	Збільшення обсягів стартапу.

Аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 9).

Таблиця 9 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції	Олігополія	Диференціація у маркетингових підходах у взаємодії із споживачами
2. Рівень конкурентної боротьби	Національний рівень конкурентної боротьби	Відповідність технології та якості продукту вимогам законодавства України
3. За галузевою ознакою	Міжгалузева	Урахування особливостей конкурентного середовища у кожній галузі з якою взаємодіє стартап.
4. Конкуренція за видами товарів	Товарно-видова конкуренція	Відстеження тенденцій на ринку з можливістю появи на ринку продуктів-замінників.
5. За характером конкурентних переваг	цінова / нецінова	1. Гнучке ціноутворення з урахуванням динаміки попиту. 2. Удосконалення технології, що спрямована на підвищення базових переваг.
6. За інтенсивністю	Не марочна інтенсивність	Забезпечення масштабованості стартапу в

Продовження табл. 9

		найближчій перспективі для створення стійкого сприйняття стартапу як окремої бізнес одиниці.
--	--	--

Більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю 5 сил М. Портера) (табл. 10).

Таблиця 10 - Аналіз конкуренції в галузі

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Компанія "Тетра Пак"; Компанія "Инпак"	Підприємства досить давно на ринку	Великий вибір ПЕТ преформ	Великі потреби у ПЕТ-тарі	Інновації у виробництві
Висновки:	Конкурентна боротьба високоінтенсивна	Є можливість входу на ринок; є потенційні конкуренти	Постачальники не диктують умови роботи	Клієнти не диктують умови роботи	Обмежень немає

За результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що вихід на ринок можливий з огляду на конкуренцію.

Визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності (табл. 11).

Таблиця 11 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Якість товщини стінки	Отримання бажано товщини

Таблиця 12 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з даним						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Якість товщини стінки	19			+				

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу [41] (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (табл. 13)).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 13 – SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: <ul style="list-style-type: none"> – контроль за здійсненням витрат, пошук можливостей щодо їхнього зниження; – якість товару; – зважена цінова політика; – врахування потреб споживачів. 	Слабкі сторони: <ul style="list-style-type: none"> – частина ринку; – результативність реклами;
--	--

Продовження табл. 13

Можливості:	Загрози:
<ul style="list-style-type: none"> – зростання грошових доходів працівників; – впровадження різних форм організації торгівлі. 	<ul style="list-style-type: none"> – недосконалість та змінюваність законодавства; – інфляційні процеси; – високий рівень безробіття.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 14).

Таблиця 14 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу.	вище середньої	1 рік
2	Стратегія підсилення сильних сторін за рахунок ринкових можливостей.	висока	6 місяців
3	Стратегія компенсації слабких сторін наявними ринковими можливостями.	середня	2 роки
4	Стратегія виходу з ринку	низька	не має

Обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу.

7.4 Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 15).

Таблиця 15 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потен- ційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сег- менту)	Інтенсив- ність кон- куренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприєм- ства які орієнтовані на виготов- лення ПЕТ- пляшок	висока	специфічний	низька	високий бар'єр входу

Проаналізувавши потенційні групи споживачів обираємо цільові групи. та визначаємо стратегію охоплення ринку [41]. Оскільки компанія зосереджується на одному сегменті – обираємо стратегію концентрованого маркетингу.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до стартап-компанії та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування

(табл. 16). що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 16 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Збільшення якості та можливість регулювання товщини стінки.	Стратегія диференціації	<ul style="list-style-type: none"> • Можливість регулювати товщину стінки. 	<ul style="list-style-type: none"> • Товщина стінки • Міцність готової ПЕТ-пляшки • Економічність

7.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 17 підсумовуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 17 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Регулювання товщини стінки	Бажана товщина стінки	Можливість регулювання товщини.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 18).

Таблиця 18 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення
1	Обережний вибір потенційних клієнтів, що зумовлено особливістю ринку	Інтернет-розсилки	Технологія	Привернути увагу до нової технології регулювання товщини стінки ПЕТ-тари
2		Спеціалізовані видання	Технологія	
3		Спеціалізовані виставки, форуми, конференції	Технологія	

7.5 Висновки до розділу 7

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що бар'єри для входу на ринок високі хоча попит на дану продукцію великий; рентабельність роботи на ринку висока.

З огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність проекту є перспективи впровадження стартап-проекту.

Доцільна подальша імплементація проекту.

ВИСНОВКИ

В результаті проведеної роботи було проаналізовано ряд варіантів процесів виготовлення ПЕТ-тари з преформ та устаткування для даного виробництва, визначено доцільність та напрямки модернізації процесу.

Вивчено принципи роботи устаткування для виробництва ПЕТ-тари.

Проведено моделювання процесу видувного формування ПЕТ-тари з преформ за допомогою системи ANSYS зі штоком та без штоку.

Визначено граничні та початкові умови математичної моделі та запропоновано адаптацію математичної моделі для числового моделювання.

Моделювання процесу видуву без штоку виявило, що пляшка розривається, коли товщина стінки досягає критичного значення.

Моделювання процесу видуву зі штоком було проведено в 4х варіантах, це дало змогу виявити таку залежність - зі збільшенням швидкості штоку зменшується час видуву, але потрібно збільшувати тиск.

Формування за рівномірної температури преформи не дає змоги отримати рівнотовщинну пляшку. Для досягнення більш рівномірної мінімально достатньої товщини необхідно прогрівати преформу диференційовано по висоті залежно від ступеню роздуву в даній області. Подано заявку на вдосконалий спосіб видуву ПЕТ-тари з преформи, який дає змогу покращити рівнотовщинність готових пакувальних виробів.

Зроблено доповідь на конференції «Новітні технології пакування», що відбулася в рамках заходів виставки «Пак Експо 2018» 20 квітня 2018 р., за матеріалами якої опубліковано статтю в додатку до журналу «Упаковка».

Опубліковано тези доповіді на IV Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Любешкина Е., Аксенова Т. Полиэтилентерефталат, свойства и применение //Пакет. -2000, -№1. –С.19-28.
2. Справочник упаковщика [Электронный ресурс] // Способы упаковки. ПЭТ бутылки: история, свойства, технология производства URL: <https://ref.unipack.ru/119/>
3. Groot, J. A. W. M., Giannopapa, C. G., and Mattheij, R. M. M. “A computer simulation model for the stretch blow moulding process of polymer containers”. In Proceedings of PVP 2010 : ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, July 18-22, 2010, Bellevue, Washington, USA.
4. Giannopapa, C. G., 2008. “Development of a computer simulation model for blowing glass containers”. J. Man. Sci. Eng., 130.
5. Giannopapa, C. G., and Groot, J. A. W. M., July 22-26, 2007. “A computer simulation model for the blow-blow forming process of glass containers”. In 2007 ASME Pressure Vessels and Piping Conf. and 8th Int. Conf. on CREEP and Fatigue at Elevated Temp.
6. Groot, J. A. W. M., Giannopapa, C. G., and Mattheij, R. M. M., July 26-30, 2009. “Numerical optimisation of blowing glass parison shapes”. In Proceedings of PVP 2009: ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference.
7. Groot, J. A. W. M., Giannopapa, C. G., and Mattheij, R. M. M., July 27-31, 2008. “Development of a numerical optimisation method for blowing glass parison shapes”. In Proceedings of PVP 2008: ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference.
8. DeLorenzi, H. G., and Nied, H. F., 1987. “Blow molding and thermoforming of plastics: Finite element modelling”. Comput. Struct., 26, pp. 197–206.
9. Gao, D. M., Nguyen, K. T., Héту, J.-F., Laroche, D., and Garcia-Rejon, A., 1998. “Modelling of industrial polymer processes: Injection molding and blow molding”. Adv. Perf. Mat., 5, pp. 43–64.

10. Warby, M. K., and Whiteman, J. R., 1988. "Finite element model of viscoelastic membrane deformation". *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.*, 68, pp. 33–54.
11. DeLorenzi, H. G., and Nied, H. F., 1991. "Finite element simulation of thermoforming and blow molding". In *Modeling in Polymer Processing*, A. I. Isayev, ed., Vol. 1 of *Progress in Polymer Processing*, Hanser Verlag, pp. 117–171.
12. Laroche, D., Kabanemi, K. K., Pecora, L., and Diraddo, R. W., 1999. "Integrated numerical modeling of the blow molding process". *Polym. Eng. Sci.*, 39(7), pp. 1223–1233.
13. Cakmak, M., White, J. L., and Spruiell, J. E., 1985. "An investigation of the kinematics of stretch blow molding poly(ethylene terephthalate) bottles". *J. Appl. Polym. Sci.*, 30, pp. 3679–3695.
14. Kouba, K., and Vlachopoulos, J., 1992. "Modeling of thermoforming and blow molding, theoretical and applied rheology". In *Proceedings XIth Congress on Rheology*, pp. 17–21.
15. Schmidt, F. M., 1996. "Viscoelastic simulation of pet stretch/blow molding process". *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 64, pp. 19–42.
16. Yang, L. M., Shim, V. P. W., and Lim, C. T., 2000. "A visco-hyperelastic approach to modelling the constitutive behaviour of rubber". *Int. J. Impact Eng.*, 24, pp. 545–560.
17. Yang, L. M., Harkin-Jones, E., Menary, G. H., and Armstrong, G. H., 2004. "A non-isothermal finite element model for injection stretch-blow molding of pet bottles with parametric studies". *Polym. Eng. Sci.*, 44(7), pp. 1379–1390.
18. Wang, S., Makinouchi, A., Okamoto, M., Kotaka, T., Maeshima, M., Ibe, N., and Nakagawa, T., 1999. "3d FEM simulation of the stretch blow molding process with a twostage material model". In *Materials*, Vol. 2 of *ANTEC 1999 Plastics: Bridging the Millennia*, pp. 977–981.
19. Wang, S., Makinouchi, A., and Nakagawa, T., 1996. "Development of 3d fem simulation code for polymer's blow molding process". In *Computational Science and Engineering*, RIKEN Review, The Institute of Physical and Chemical Research, pp. 53–54.

20. Wang, S., Makinouchi, A., and Nakagawa, T., 1998. "Three-dimensional viscoplastic fem simulation of a stretch blow molding process". *Adv. Polym. Techn.*, 17(3).
21. Cosson, B., Chevalier, L., and Yvonnet, J., 2007. "Numerical simulation of multi-axial tensile tests and free blowing of a pet bottle near tg by the c-nem". In *10th Esaform Conference on Material Forming*, Vol. 907 of AIP Conference Proceedings, pp. 1418–1423.
22. Bordival, M., Schmidt, F., Le Maout, Y., and Velay, V., 2009. "Preform shape and operating condition optimization for the stretch blow molding process". *Polym. Eng. Sci.*
23. Chung, K., 1989. "Finite element simulation of pet stretch/blow-molding process". *J. Mat. Shap. Tech.*, 7, pp. 229–239.
24. Haessly, W. P., and Ryan, M. P., 1993. "Experimental study and finite element analysis of the injection blow molding process". *Polym. Eng. Sci.*, 33(19), pp. 1279–1287.
25. Zienkiewicz, O. C., 1977. *The Finite Element Method*. McGraw-Hill, New York.
26. Zienkiewicz, O. C., Jain, P. C., and Oñate, E., 1978. "Flow of solids during forming and extrusion: Some aspects of numerical solutions". *Int. J. Solids Struct.*, 14, pp. 15–38.
27. G'Sell, C., and Jonas, J. J., 1979. "Determination of the plastic behaviour of solid polymers at constant true strain rate". *J. Mater. Sci.*, 14, pp. 583–591.
28. Williams, M. L., Landel, R. F., and Ferry, J. D., 1955. "The temperature dependence of relaxation mechanisms in amorphous polymers and other glass-forming liquids". *J. Am. Chem. Soc.*, 77, pp. 3701–3707.
29. Groot, J. A. W. M., Mattheij, R. M. M., and Laevsky, K. "Mathematical models in the manufacturing of glass, polymers and textiles (in print)". In *Lecture Notes in Mathematics*, Springer Verlag. Lectures given at the CIME- EMS Summer School in applied mathematics in Montecatini Terme, Italy, Sep 8-19, 2008.
30. Sethian, J. A., 1999. *Level Set Methods and Fast Marching Methods*. Cambridge University Press, USA.

31. Kimmel, R., and Sethian, J. A., 1998. "Computing geodesic paths on manifolds".
Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 95, pp. 8431–8435.
32. Application № 2017204219 Australia. B29B11/08. Preform extrusion molding apparatus, method for extrusion molding, and preform / Chiba Junichi; Shimizu Kazuhiko; Hosokoshiyama Hiroshi. – 2017.
33. Application № 2017176859 WO. B29B11/08. Multi-layer preform and container індекс / Dubuque William J [US]; Luke A. [US]; Beuerle Frederick C. [US]; Maki Kirk Edward [US]. – 2017.
34. Pat. № 2012-6403 Jp. B29C 49/22. – 2012.
35. Pat. № 95/00325 WO. B32B 1/100. Multi-layer preform for plastic blow molding, / Darr Richard C; Slat William. – 1994.
36. Pat. № 6214281 US. B29B11/06. Multi-layer container and preform and process for obtaining same / Slat William. – 2001.
37. Pat. № 2016144551 US. B29C49/12 Process for producing a blow-moulded plastic container and such a plastic container / Siegl Robert. – 2016.
38. Україна, патент № _____. Спосіб виготовлення об'ємного полімерного виробу роздуванням, індекс B29C 49/00 2018 Автор(и): О. Л. Сокольський, І. О. Мікульонок, В. М. Дагдій.
39. Описание расчета погрешности [Электронный ресурс] / «Погрешность измерения». – Режим доступа:
<http://www.iatephysics.narod.ru/knowhow/knowhow7.htm>
40. Про затвердження Правил охорони праці на об'єктах з переробки пластичних мас [Текст]: Наказ міністерства надзвичайних ситуацій України від 16.07.2012 № 989 // Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 7 серпня 2012 р. за № 1336/21648.
41. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

ДОДАТКИ

Додаток А
Копії публікацій

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного
та силікатного машинобудування
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Академія наук вищої освіти України
Академія будівництва України

**ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ
IV Всеукраїнської
науково-практичної конференції**

**ЕФЕКТИВНІ ПРОЦЕСИ ТА
ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ
ВИРОБНИЦТВ ТА ПАКУВАЛЬНОЇ
ТЕХНІКИ**

Київ, 15-16 грудня 2016 року

Куриленко В. М., Сівецький В. І., Сухий О. А. Прес-форма для виготовлення пластмасових виробів з інтелектуальними датчиками методом пресування	46
Сівецький В. І., Куриленко В. М., Сокольський О. Л., Івіцький І. І., Поліщук О. В. Пристрої для введення датчиків у погонажні полімерні вироби	48
Марусич М. І., Сокольський О. Л., Куриленко В. М. Модернізація пуансона гідравлічної таблетмашини з горизонтальним пресуванням	50
Бегін Є.В., Сівецький В.І., Сокольський О.Л. Модернізована машини для лиття під тиском двошарових преформ	52
Сухий О.А., Сівецький В.І. Удосконалення конструкції механізму управління діафрагмою форматора вулканізатора	53
Павлиго І.Ю. Модернізація вальців для виробництва ПВХ лінолеуму	55
Турченко І.А. Модернізація пресформи термопласт-автомату	57
Зарудний М.В., Івіцький І.І. Модернізація змішувача для обладнання грануляції полістиролу	58
Соловей В.В., Івіцький І.І. Типи змішування полімерних композицій з вуглецевими нанотрубками	61

СЕКЦІЯ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ ПАКУВАННЯ

Запороженко К.І. Покращення точності та плавного дозування сипучого матеріалу при роботі пакувального апарату	63
Колосов О.Є., Сокольський О.Л., Малецький С.В. Удосконалена методика прогнозування вологопроникності полімерних плівкових пакувальних матеріалів	65
Громова В.В., Сокольський О.Л. Конструктивна та програмна реалізація методу роздувного формування тари	69
Громова В.В. Проектування та числовий аналіз вузла запірної арматури автомату розливу в'язких продуктів	71
Винарський А.С. Застосування інструментів комп'ютерного інжинірингу в проектуванні вузла поршня з циліндром фасувального автомату в'язкої продукції	72
Руденок М.В., Мандрійчук О.М., Шилович Т.Б. Утилізація металеві упаковки	73
Шилович Т. Б., Герасименко Ю.Ю., Малецький С. В. Альтернативні матеріали для виробництва синтетичних упаковок	74
Дагдій В.М. Проектування та числовий аналіз вузла насадка для автомату розливу в'язких продуктів	76
Дагдій В.М., Сокольський О.Л. Процес та обладнання роздувного формування ПЕТ-тари	77
Перунський Д. В., Чемерис А. О. Пластинчастий ланцюг конвеєра для переміщення пляшок	78
Рагімов М., Куземко В., Швачко Д.Г. Модернізація ящикового живильника для подачі глини	80
Куземко В., Рагімов М., Швачко Д.Г. Модернізація пластинчастих живильників важкого типу для подачі крупнокускових гірських порід	82
Мохначук Я.В. Удосконалення печі для термічної усадки поковочної плівки для пакування листів азбокартону	84
Моренець О.М., Чемерис А.О. Покращення конструкції пластинчастого транспортеру	86
Моренець О.М., Чемерис А.О. Підвищення якості наклеювання етикетки етикетувального автомату	87
Солом'яний О. О. Пристрій для зварювання термопластичного рукава	88
Сімончук Д.О. Числовий аналіз напружено-деформованого стану вузла подовжного зварювання плівки дозувально-фасувального автомату на предмет визначення експлуатаційної придатності	89
Хавро Є.В. Числовий аналіз напружено-деформованого стану вузла збирання крапель на плиті фасувального автомату на предмет визначення експлуатаційної придатності	90
Шкіль В. І. Застосування CAD-CAE-систем для проектування вузла поперечного зварювання дозувально-фасувального автомату сипкої продукції	91
Бардашевський С.В., Горпинюк В.Ю., Мікульонок І.О. Завантажувальна секція однокерв'ячного преса для перероблення полімерів	93
Бардашевський С.В., Горпинюк В.Ю., Мікульонок І.О. Однокерв'ячний прес для перероблення полімерів	94

ПРОЦЕС ТА ОБЛАДНАННЯ РОЗДУВНОГО ФОРМУВАННЯ ПЕТ-ТАРИ

Дагдій В.М., студ., Сокольський О.Л., доц.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

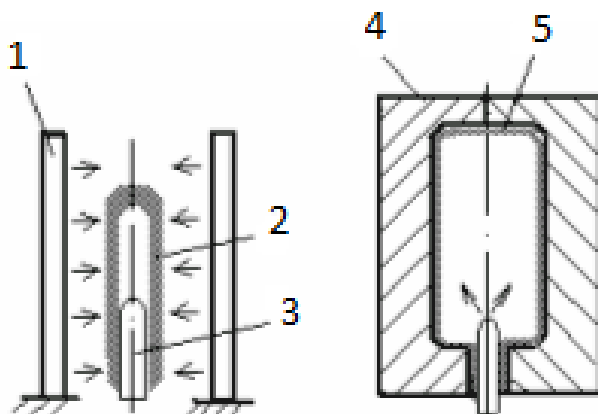
Розглянуто принципи вибору типу обладнання для процесу роздувного формування ПЕТ-тари.

Основними перевагами ПЕТ (поліетилентерефталат) в порівнянні з іншими матеріалами є: ціновий аспект, вага, дизайн упаковки. Додавання до матеріалу спеціальних добавок дає змогу отримати тару зі спеціальними властивостями, такими як: високі бар'єрні показники, низький вміст ацетальдегіду, високий рівень захисту від ультрафіолетових променів, тощо [1].

ПЕТ-пляшки виробляються за допомогою процесу, відомого як роздувне формування. Процес цей став об'єктом численних коректувань і поліпшень і, таким чином, в даний час він прекрасно вивчений, зрозумілий і добре контролюється.

Роздувне формування - це двоступінчастий процес, що включає виготовлення преформи, яка являє собою полімерну заготовку, з якої шляхом роздуву отримують пляшку для пакування харчових та нехарчових, газованих та негазованих рідин.

Процес роздуву пляшки відбувається таким чином: преформа поміщається в вузол роздувного формування розігрітих заготовок 2 і розм'якшується шляхом нагрівання пристроєм 1 і за допомогою внутрішнього наддуву повітря роздувним ніпелем 3 з неї виготовляється повнорозмірна пляшка 5.



1 - пристрій для розігріву заготовок, 2 - вузол роздувного формування розігрітих заготовок,
3 - роздувний ніпель, 4 - роздувна напівформа, 5 – виріб

Рисунок 1 - Схема формування виробу з заготовки

Горловина пляшки набуває остаточного вигляду ще на стадії виготовлення преформи. Особливість всіх ПЕТ-пляшок - кільце на горловині. Воно знаходиться на горловині преформи трохи нижче різьблення і дозволяє механічно захоплювати, переміщати преформу до місця остаточного роздування, а також полегшує транспортування готової пляшки.

Обладнання для виробництва тари із преформ складається з двох основних стадій: нагріву преформ і роздуву пляшок, жодну з яких не можна розглядати автономно [2].

Для виготовлення ПЕТ-тари існує два типи обладнання: однофазне і двофазне.

В однофазному процесі преформа виготовляється з гранул поліетилентерефталату і роздувається в готову пляшку на одній машині. В такому випадку виготовлення преформи і пляшки поєднуються в одному обладнанні, так що преформи часто поступають на кінцевий роздув ще теплими.

У двофазному процесі преформа виготовляється на одній машині, а потім транспортується для роздування пляшки на іншу, або поміщається на склад, де і зберігається, доки не буде потрібна. Оскільки преформа займає місця приблизно в 12 разів менше, ніж готова пляшка, зберігати її вигідніше за готову пляшку. Крім того, необхідно враховувати, що один і той же тип преформ може бути використаний для виробництва різних пляшок.

Оскільки друга стадія двофазного процесу значно коротша за першу, в такому варіанті можливо досягти дуже високої продуктивності устаткування, що випускає кінцеву продукцію, необхідно лише мати достатню кількість відповідних преформ. Зазвичай одна машина виробляє 1200-1400 пляшок в годину.

Продуктивність обладнання залежить від числа роздувних комірок в машині, а також від часу робочого циклу. Час робочого циклу в свою чергу визначається товщиною стінок преформи і часом її охолодження.

Виробник напоїв, що обрав двофазний процес виготовлення ПЕТ-пляшок, може і виробляти преформи самостійно, і купувати їх. Варіант купівлі преформ надає більшу гнучкість на початковій стадії виробництва, а також позбавляє його від необхідності контролювати якість сировини, стежити за придатністю місця їх зберігання. А надалі виробник може налагодити і власне виробництво преформ, якщо виникне така необхідність. Купівля преформ дозволяє обирати їх типи, вагу і не витрачати час та кошти на заміну недешевого обладнання. Виробник може обирати преформу для виробництва з ПЕТ, ПЕНГ або композитного матеріалу, яка є найбільш підходящою саме для його виду продукції.

Перелік посилань

1. ГОСТ Р 51695-2000. Полиэтилентерефталат. Общие технические условия [Текст] . — Введ. 2002-01-01. — М. : Стандартиформ, 2008. — 15 с.

2. Упаковочные решения и технология выдувного формования с вытяжкой для пластиковых бутылок [Электронный ресурс] / KHS Corpoplast gmbH & Co. Kg.— Режим доступа: \www/ Url: http://www.khscorpoplast.com/images/publikationen/BloMaX_r.pdf. — 13.11.2008 г. — Загл. с экрана.

УДК 621.867

ПЛАСТИНЧАСТИЙ ЛАНЦЮГ КОНВЕЄРА ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ ПЛЯШОК

Перунський Д. В., студент, Чемерис А. О. ст. викл.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігора Сікорського», м. Київ

Представлено конструкцію ланцюга пластинчастого конвеєра для переміщення пляшок. Дана конструкція дозволяє пластинчастому ланцюгу здійснювати рух по криволінійних траєкторіях в горизонтальній площині, зменшити витрати матеріалів на виготовлення, спростити конструкцію ланцюга.

Пластинчастий конвеєр – машина безперервної дії, призначена для транспортування насипних, поштучних і волокнистих вантажів. За їх допомогою транспортують такі важкі поштучні вантажі, для яких не можна використовувати стрічкові конвеєри: крупнокускову руду, гарячий агломерат, вапняк, гарячі поковки, виливки, гострокромкові відходи штампувального виробництва. Дана конструкція відноситься до конвеєрів для переміщення пляшок, скляних і металевих банок, які застосовуються в лініях розливу харчових і переробних підприємствах, а також в медичній, хімічній та інших галузях господарства [1].